



TUGAS AKHIR - MO141326

ANALISIS TEGANGAN PIPA SAAT *TOWING* PADA PROSES INSTALASI DENGAN METODE *SURFACE TOW*

RIZAL ARDIANSYAH

NRP. 4310 100 087

Dosen Pembimbing :

Ir. Imam Rochani, M.Sc.

Ir. Handyanu, M.Sc, Ph.D.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015



FINAL PROJECT - MO141326

STRESS ANALYSIS OF TOWED PIPE ON INSTALLATION PROCESS USING SURFACE TOW METHOD

RIZAL ARDIANSYAH

REG. 4310 100 087

Supervisors :

Ir. Imam Rochani, M.Sc.

Ir. Handayanu, M.Sc, Ph.D.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015

**ANALISIS TEGANGAN PIPA SAAT *TOWING* PADA PROSES
INSTALASI DENGAN METODE *SURFACE TOW***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Progran Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

RIZAL ARDIANSYAH

NRP. 4310 100 087

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Imam Rochani, M.Sc. (Pembimbing 1)

2. Ir. Handayanu, M.Sc, Ph.D. (Pembimbing 2)



Surabaya, Januari 2015

Stress Analysis Of Towed Pipe On Installation Process Using Surface Tow Method

Name of Student : Rizal Ardiansyah
NRP : 4310100087
Departement : Teknik Kelautan –FTK ITS
Lecture : Ir. Imam Rochani, M.Sc,
Ir. Hndayanu, M.Sc, Ph.D

ABSTRACT

In this thesis discussed on the analysis of stress occurring in the subsea pipeline installation when towing on the surface tow method. The forces on the pipe when the towing process must be calculated as gravity, buoyancy, pulling force, and hydrodynamic force. In addition to these tow surface process, the calculation of the floater is needed in order to float the pipe at the sea surface is required. Data pipe used in this analysis are made from carbon steel gas pipeline, with a nominal diameter of 4 inches in accordance with the standards of API 5L Grade B and Schedule 80. The overall length of the pipeline is 3800 meters. Environmental data used are environmental data of Lalang strait, kabupaten Meranti, Riau province with a sea depth of 20 meters, with significant wave 0.52 meters, and the wave period 5.32 meters. For maximum current velocity that occurs at 1.76 meters per second and the slope of the beach 0.01. In the calculations have been done in this thesis, floater requirement up to 9 pieces per joint pipe with a 0.3 meter distance between floaters. Tensile or pulling force required to pull 3600 meters subsea pipelines is 456352,836 N. Stress which calculated on this towed pipe are bending stress and axial stress. The maximum stress combined is equal to 28000 psi.

Key Words : floater, pipeline, pulling force, stress, towing

Analisis Tegangan Pipa Saat *Towing* Pada Proses Instalasi Dengan Metode *Surface Tow*

Nama Mahasiswa : Rizal Ardiansyah

NRP : 4310100087

Jurusan : Teknik Kelautan –FTK ITS

Dosen Pembimbing : Ir. Imam Rochani, M.Sc

Ir. Handayanu, M.Sc, Ph.D.

ABSTRAK

Pada tugas akhir ini dibahas mengenai analisis tegangan yang terjadi pada pipa bawah laut saat *towing* pada instalasi dengan metode *surface tow*. Gaya yang bekerja pada pipa ketika proses *towing* harus dihitung seperti gaya berat, gaya apung, gaya tarik dan gaya hidrodinamika. Selain itu pada proses *surface tow* ini, diperlukan perhitungan pelampung (*floater*) yang dibutuhkan agar dapat mengapungkan pipa di permukaan laut. Data pipa yang digunakan dalam analisis ini adalah pipa gas berbahan *carbon steel*, dengan nominal diameter 4 inch yang sesuai dengan standar API 5L Grade B dan *schedule* 80. Panjang pipa keseluruhan adalah 3800 meter. Data lingkungan yang digunakan adalah data lingkungan selat Lalang, Kabupaten Meranti, Provinsi Riau dengan kedalaman laut 20 meter, gelombang signifikan sebesar 0.52 meter, dan periode gelombang 5.32 meter. Untuk kecepatan maksimum arus yang terjadi sebesar 1.76 meter per detik dan kemiringan pantai 0.01. Dari perhitungan yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, kebutuhan pelampung mencapai 9 buah per *joint* pipa dengan jarak antar pelampung 0.3 meter. Gaya tarik atau *pulling force* yang dibutuhkan untuk menarik 3800 meter pipa bawah laut adalah sebesar 456352.836 N. Sementara itu untuk tegangan (*stress*) yang dihitung pada pipa *towing* ini adalah tegangan bending dan tegangan aksial. Hasil perhitungan tegangan gabungan maksimum yang terjadi adalah sebesar 28000 psi.

Kata Kunci : *floater, pipeline, pulling force, stress, towing*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah hirobbilalamin, puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan berkat, rahmat, hidayah, inayah dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan lancar. Ucapan sholawat serta salam juga penulis haturkan kepada junjungan umat manusia nabi besar Muhammad SAW yang telah menjadi pemimpin dan suri tauladan yang baik bagi seluruh umat manusia. Serta kepada seluruh pihak yang telah membantu dan berkontribusi sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan segenap kemampuan yang penulis miliki.

Tugas akhir ini berjudul “**Analisis Tegangan Pipa Saat *Towing* Pada Proses Instalasi Dengan Metode *Surface Tow***”. Tugas akhir ini dikerjakan dan disusun sebagai salah satu syarat kelulusan program sarjana Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Tujuan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui gaya-gaya yang bekerja pada pipa saat proses *towing*, untuk mengetahui konfigurasi pelampung dan mengetahui tegangan yang terjadi pada pipa.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan penulisan selanjutnya. Penulis berharap laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Wassalamualaikum Wr. Wb.


Surabaya, Januari 2015

Rizal Ardiansyah

UCAPAN TERIMA KASIH

Sesungguhnya banyak sekali pihak yang telah memberi kontribusi pada proses penyelesaian tugas akhir ini. Penulis ingin sekali dapat mencantumkan semua nama orang yang telah membantu penulis, namun penulis tidak dapat menyebutkannya satu persatu karena keterbatasan penulis. Rasa terima kasih yang besar saya ucapkan kepada :

1. Allah SWT yang telah mencintai penulis walaupun penulis hanyalah hamba yang penuh dosa dan sering melupakan-Nya.
2. Ibunda penulis yang telah memberikan kasih sayang tulus dan pengertian yang dapat menjauhkan segala keputusasaan.
3. Ayahanda penulis yang telah rela membanting tulang demi penulis agar bisa tetap kuliah.
4. Bapak Imam Rochani selaku dosen pembimbing pertama yang telah ikhlas merelakan waktunya demi memberikan masukan dan ilmu yang bermanfaat bagi penulis sehingga tugas akhir ini dapat dikerjakan dengan maksimal.
5. Bapak Handyanu selaku dosen pembimbing kedua yang selalu membimbing dan membantu penulis dengan sabar dalam hal perhitungan tugas akhir, sehingga dapat diselesaikan dengan baik.
6. Pak Murdjito selaku dosen wali penulis yang telah membimbing dan memberikan nasihat dan masukan kepada penulis selama kuliah di Jurusan Teknik Kelautan, FTK, ITS.
7. Pak Agus Gangsar sebagai *senior supervisor* dan para *engineer* divisi Production di PT. Energi Mega Persada tempat penulis kerja praktek yang telah memberikan data yang dibutuhkan untuk tugas akhir ini, dan melatih penulis dalam menganalisa pipa bawah laut, serta pengalaman yang tak terlupakan selama kerja praktek.
8. Aristya Dhaneswara yang telah membantu penulis dalam hal perhitungan struktur dan kekuatan beton.
9. Rizky Febriawan dan Andita Permatasari sebagai saudara kandung yang telah memberi semangat dan do'a kepada penulis.

- 
10. Keluarga besar Laboratorium Operasional, Riset, dan Perancangan yang telah memberikan rasa kebersamaan dan semangat dalam pengerjaan tugas akhir ini.
 11. Teman-teman Megalodon yang selalu menemani dalam suka dan duka selama masa kuliah di ITS.
 12. Pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis berharap tugas akhir ini mampu memberikan manfaat bagi pembacanya.

Penulis juga dengan senang hati menerima kritik dan saran yang membangun bagi tugas akhir ini.

Surabaya, Januari 2015

Rizal Ardiansyah

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Batasan Masalah.....	4
1.6. Metode Penulisan	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	 7
2.1. Tinjauan Pustaka	7
2.2. Metode Instalasi Pipa Bawah Laut	8
2.2.1. Keuntungan dan Kerugian Setiap Instalasi Pipa	10
2.3. Gaya – gaya yang Bekerja Pada Pipa	12
2.3.1. Berat Pipa dan Gaya Apung	12
2.3.2. Beban Gelombang	14
2.3.3. Beban Arus	15
2.3.4. Gaya Hidrodinamika	16
2.3.5. Koefisien Hidrodinamis	17
2.3.6. Gaya Hidrodinamis Pipa	18
2.4. Beban-beban Pada Sistem Perpipaan	19
2.4.1. Beban Sustain (<i>Sustain Load</i>)	19

2.4.2. Beban Occasional (<i>Occasional Load</i>)	20
2.4.3. Beban Ekspansi Termal (<i>Expansion Load</i>)	20
2.5. Perhitungan Moda Kegagalan Pipa	20
2.5.1. Desain Untuk <i>Internal Pressure</i>	20
2.5.2. Desain Untuk <i>Collapse</i>	21
2.5.3. Desain Kombinasi Untuk Tekanan dan <i>Bending Moment</i>	21
2.5.2. Desain Untuk Perambatan <i>Buckle</i>	21
2.6. Konfigurasi Pelampung (<i>Floater</i>)	22
2.7. Perhitungan Spesifik <i>Pulling Force</i>	22
2.7.1. Perhitungan Gaya Tarik	22
2.7.2. Gaya Drag Berdasarkan <i>Frontal Area</i> Pipa	24
2.7.3. Gaya Drag Berdasarkan <i>Frontal Area Floater</i>	24
2.7.4. Perhitungan <i>Pulling Force</i> Total	25
2.8. Tegangan (<i>Stress</i>)	25
2.8.1. Konsep Tegangan	26
2.9. Benda Dua Bahan	28
2.10. Kekuatan Lapisan (<i>Concrete Coating</i>)	29
2.10.1. Kuat tekan beton	30
2.10.2. Kuat Tarik beton	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1. Metode Penelitian	33
3.2. Penjelasan Diagram Alir Penelitian	35
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Pengumpulan Data	37
4.1.1. Data Pipa dan Materialnya	37
4.1.2. Data <i>Floater</i>	38
4.1.3. Data Lingkungan	38
4.2. Pembebanan Pipa	39
4.3. Kebutuhan Pelampung (<i>Floater</i>)	40
4.3.1. Konfigurasi Pelampung (<i>Floater</i>)	42

4.4. Gaya Tarik (<i>Pulling Force</i>).....	43
4.4.1. Hubungan Panjang Pipa di <i>Skidway</i> dan di permukaan air Terhadap Gaya Tarik yang dibutuhkan pada Tahap 1	45
4.4.2. Hubungan Panjang Pipa di <i>Skidway</i> dan di permukaan air Terhadap Gaya Tarik yang dibutuhkan pada Tahap 2	46
4.5. Kapasitas <i>Bollard Pull</i>	48
4.6. Penentuan Dimensi Rantai (<i>Chain</i>).....	49
4.7. Perubahan Dimensi Pipa Akibat Transformasi Dua Bahan	51
4.8. Tegangan Pipa.....	51
4.9. Kekuatan <i>Concrete Coating</i>	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Keuntungan dan Kerugian Pipa Bawah Laut menurut Yong Bai and Qiang Bai (2005).....	11
Tabel 4.1. Data Pipa dan Material.....	37
Tabel 4.2. Data propertis pipa	38
Tabel 4.3. Data Pelampung (<i>Floater</i>).....	38
Tabel 4.4. Data Lingkungan.....	39
Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Pembebanan Pada Pipa.....	39
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Konfigurasi <i>Floater</i>	41
Tabel 4.7. Hasil Perhitungan <i>Pulling Force</i>	44
Tabel 4.8. Ukuran utama Tug boat.....	49
Tabel 4.9. Spesifikasi <i>Chain</i>	50
Tabel 4.10 Hasil perhitungan transformasi bahan.....	51
Tabel 4.11 Hasil perhitungan kekuatan beton.....	57

DAFTAR GAMBAR

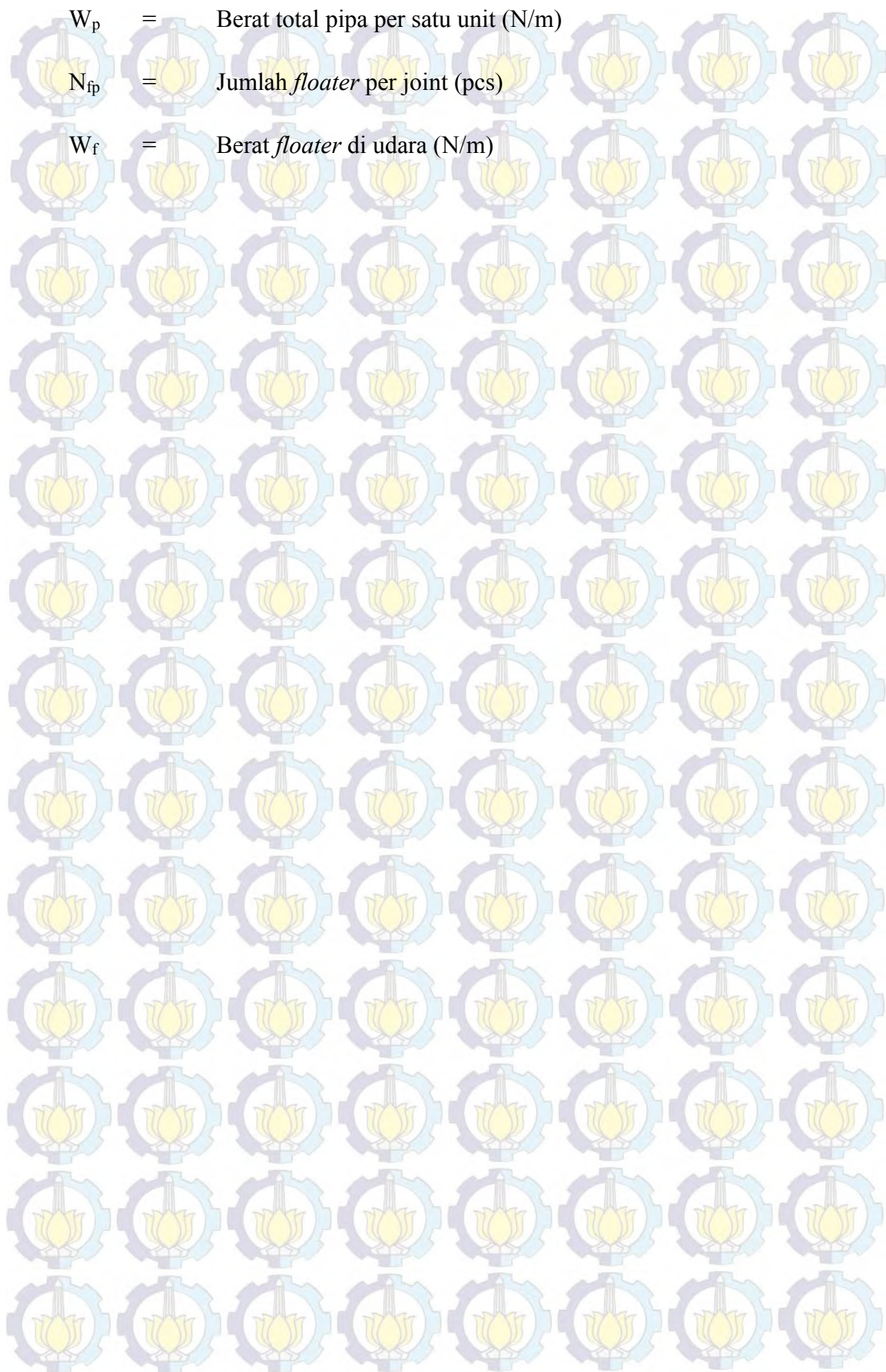
Gambar 1.1. Metode Instalasi Pipa Bawah Laut Dengan Towing	2
Gambar 1.2. Peta Selat Lalang	3
Gambar 2.1. Beberapa metode Instalasi pipa bawah laut.....	9
Gambar 2.2. Proses Instalasi <i>Towing</i>	10
Gambar 2.3. Grafik <i>Region of Validity</i> (Mouselli, 1981).....	14
Gambar 2.4. Gaya geser dan gaya tarik.....	23
Gambar 2.5. Pembebanan Aksial pada Batang Tubular	27
Gambar 2.6. Pembebanan Momen Kopel pada Batang Tubular	27
Gambar 2.7. Diagram Tegangan dan Regangan pada Penampang Dua Bahan.....	29
Gambar 2.8. Padanan dalam bahan 1 dan 2.....	29
Gambar 4.1. Konfigurasi pelampung tampak samping.....	42
Gambar 4.2. Konfigurasi pelampung tampak depan	42
Gambar 4.3. Proses <i>towing</i> tampak atas	43
Gambar 4.4. Grafik gaya tarik pipa pada tahap pertama	45
Gambar 4.5. Grafik gaya tarik pipa pada tahap kedua	47
Gambar 4.6. <i>Free body diagram</i> isometrik proses <i>towing</i> pipa	52
Gambar 4.7. <i>Free body diagram</i> proses <i>towing</i> pipa tampak atas dan tampak samping.....	53
Gambar 4.8. Grafik distribusi tegangan saat proses <i>towing</i>	57
Gambar 4.9. Grafik distribusi tegangan saat proses <i>towing</i> dengan tumpuan tambahan.....	55
Gambar 4.10. Konfigurasi kapal pandu.....	56
Gambar 4.11. Grafik <i>pulling force</i> dan ijin tarik beton.....	57

DAFTAR NOTASI

C_D	=	<i>coefficient drag</i>
C_L	=	<i>coefficient lift</i>
C_M	=	<i>coefficient inertia</i>
d	=	kedalaman perairan (m)
D_{tot}	=	diameter luar pipa termasuk concrete coating (m)
D	=	diameter luar pipa baja (m)
D_i	=	diameter dalam pipa baja (m)
du/dt	=	percepatan aliran (m/s^2)
F	=	total gaya yang bekerja pada pipa (N/m)
F_d	=	gaya drag per unit length (N/m)
F_i	=	gaya inersia per unit length (N/m)
F_L	=	gaya angkat per unit length (N/m)
F_r	=	gaya gesek (N/m)
g	=	percepatan gravitasi ($9.81 m/s^2$)
H	=	tinggi gelombang (m)
k	=	angka gelombang, $k = \frac{2\pi}{L}$
L	=	panjang gelombang dengan perkiraan kedalaman perairan (m)
N	=	gaya normal (total gaya arah vertikal struktur) (N/m)
ρ	=	densitas fluida, (kg/m^3)
Re	=	Reynolds number

s	=	koordinat gelombang di atas sea bed, $s = d + y$ (m)
T	=	periode gelombang, (s)
t	=	waktu (s)
t_c	=	tebal selimut beton (m)
t_{corr}	=	tebal lapisan anti karat (m)
t_{st}	=	tebal pipa baja (m)
U	=	kecepatan partikel air akibat gelombang (m/s)
U_D	=	kecepatan partikel air akibat arus (m/s)
U_e	=	kecepatan efektif partikel air (m/s)
U_r	=	kecepatan arus, (m/s)
μ_s	=	koefisien gesek statis <i>skidway</i> (0.62)
μ_k	=	koefisien gesek kinetis <i>skidway</i> (0.3)
ν	=	viskositas kinematis air (m^2/s).
y	=	koordinat gelombang di atas SWL, $y = \frac{H}{2}$ (m)
z	=	ketebalan layer (m)
Z_o	=	parameter kekasaran seabed
Z_r	=	ketinggian di atas seabed (m)
θ	=	sudut fase (derajat)
θ_{curr}	=	sudut datang arus (derajat)
ω	=	frekuensi gelombang (rad/s)
SMYS	=	<i>Specified Minimum Yield Stress</i> (MPa)
η	=	tug boat <i>efficiency</i>

p_i	=	Tekanan internal (Psi)
p_e	=	tekanan hidrostatik eksternal (Psi)
E	=	Modulus young dari elastisitas besi (MPa)
t	=	Minimum tebal pipa ($t_{nom}-t_{corr}$) (mm)
D_{conc}	=	Diameter luar selimut beton (mm)
t_s	=	Tebal pipa baja (mm)
t_{conc}	=	Tebal selimut beton (mm)
W_{st}	=	Berat pipa baja (N/m)
W_{corr}	=	Berat lapisan anti korosi di udara (N/m)
W_{conc}	=	Berat selimut beton (N/m)
W_{cont}	=	Berat isi pipa (N/m)
W_{sub}	=	Berat terendam pipa (N/m)
B	=	Gaya apung (N)
ρ_{st}	=	Densitas baja (kg/m^3)
ρ_{corr}	=	Densitas lapisan anti korosi di udara (kg/m^3)
ρ_{conc}	=	Densitas selimut beton (kg/m^3)
ρ_{sw}	=	Densitas air laut (kg/m^3)
ρ_{cont}	=	Densitas fluida isi pipa (kg/m^3)
N_f	=	Jumlah <i>floater</i> yang dibutuhkan (pcs)
L_{sa}	=	Panjang pipa yang dianalisa (m)
n_f	=	jumlah joint pipa pada area persiapan
L_j	=	Panjang antar joint dalam satu pipa (m)



DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Zaenal. 2008. *Analisis On-Bottom Stability dan Instalasi Pipa Bawah Laut Di Daerah Shore Approach*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Anto, A.S. 2009. *Analisa Dinamis Tegangan Pipa Selama Instalasi Akibat adanya Perilaku Floating Stinger*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- API 5L. 2000. *Specifications of Line Pipe*. American Petroleum Institute. Washington D.C.
- ASME B31.8. 2010. *Gas Transmission and Distribution Piping Systems*. The American Society of Mechanical Engineers. New York.
- Bai, Y. 2001. *Pipeline and risers*. Elsevier Science Ltd. Oxford
- Chakrabarti, S.K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structure*. Computational Mechanics Publication. London.
- DNV OS-F101. 2007. *Submarine Pipeline System*. Det Norske Veritas. Norway.
- DNV RP-F109. 2007. *On-bottom Stability Design Of Submarine Pipeline*. Det Norske Veritas. Norway.
- Fernandez M.L. 1981. *Tow Techniques for Marine Pipeline Installation*. Delft University of Technology. Delft.
- Guo, B. 2005. *Offshore Pipeline*. Elsevier. United States.
- Hsu, T.H. 1984. *Applied Offshore Structural Engineering*. Gulf Publishing Company. Houston.
- <http://arizafahluziyusuf.wordpress.com/2012/03/27/metode-pemasangan-pipa-bawah-laut/>
- <http://www.offshore-technology.com/2010/>
- IACS. 2014. *Requirements concerning Mooring, Anchoring and Towing*. International Association of Classification Societies. London.
- Ikhwan, Hasan. 2003. *Diktat Kuliah Perancangan Pipa Bawah Laut*. Teknik Kelautan ITS. Surabaya.
- Korean Register. 2010. *Rules for The Towing Survey of Barges and Tugboats*. Korean Register of Shipping. Daejeon.
- Makisang, David. 2007. *Analisa Hidrodinamik Pipeline Selama Instalasi Dengan Metode Tow Surface*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Mouselli, A.H. 1981. *Offshore Pipeline Design, Analysis and Methods*. PenWell Books. Oklahoma.

NACM. 2010. *Welded Steel Chain Specifications*. National Association of Chain Manufacturers. Tucson.

Nugroho, R.S. 2010. *Analisa Instalasi Pipa Polyethylene Bawah Laut Dengan Metode S-Lay*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Popov, E.P. 1986. *Mechanics of Materials*. Prentice-Hall, Inc. New Jersey

Sianturi, Fantri. 2008. *Desain dan Analisis Instalasi Struktur Pipa Bawah Laut*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Soegiono. 2004. *Teknologi Produksi dan Perawatan Bangunan Laut*. Airlangga University Press. Surabaya.

Subhan, M.F.F. 2014. *Analisa Shore Pull Pada GG New Field Development Milik PT. Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Trihatmojo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta.

BIODATA PENULIS



Rizal Ardiansyah lahir di Surabaya, 4 Oktober 1992. Pendidikan formal penulis dimulai saat menempuh pendidikan dasar di SDN Babat Jerawat II Surabaya, dilanjutkan dengan bersekolah menengah pertama di SMPN 26 Surabaya. Lulus dari SMAN 11 Surabaya pada tahun 2010 dan penulis mengikuti tes Program Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Surabaya. Selama kuliah penulis banyak mengikuti berbagai pelatihan dan seminar terutama yang berhubungan dengan bidang kelautan. Selain itu penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan sebagai *Instructure Commitee* (IC) Departemen Pengembangan Sumber Daya Manusia (PSDM) HIMATEKLA periode 2012/2013. Tugas Akhir penulis mengangkat permasalahan berkaitan dengan salah satu bidang di Jurusan Teknik Kelautan, yaitu Bidang Perancangan dan Produksi Bangunan Laut.

Email : rizalardians@ymail.com

Nomor Ponsel : 08973142220

BAB I

PENDAHULUAN

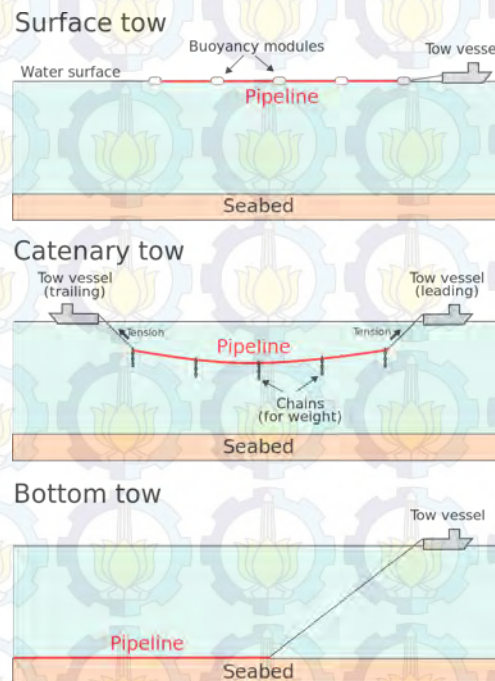
1.1. Latar Belakang Masalah

Pipa bawah laut memiliki peran yang sangat penting dalam industri minyak dan gas bumi. Menurut Chakrabarti (1987), pipa merupakan salah satu moda transportasi minyak yang efisien apabila suatu struktur produksi terletak di dekat pantai. Untuk mencapai kondisi yang diinginkan maka diperlukan proses desain, perancangan, instalasi, inspeksi dan pemeliharaan yang baik sehingga tercapai proses transportasi yang aman, handal dan efisien.

Dalam melakukan desain pipa bawah laut dengan tingkat keamanan dan *life time* yang tinggi, diperlukan suatu kecermatan dalam proses desain. Salah satunya adalah proses instalasi dan metode instalasi yang digunakan. Instalasi pipa (*Pipeline Installation*) adalah proses pemasangan *pipeline* di laut. Ada 4 metode instalasi *pipeline* yaitu *S-Lay*, *J-Lay*, *Towing*, dan *Reeling*. Pemilihan metode instalasi yang digunakan tergantung pada kondisi lingkungan dan perilaku sistem instalasi pipa yang mendapatkan berbagai gaya yang bekerja selama instalasi yang dapat mengakibatkan kegagalan. Gaya tersebut dapat berasal dari gerakan kapal atau *laybarge*, tekanan hidrostatik, *tension*. Kemudian, hal yang harus diperhatikan adalah besarnya tegangan yang terjadi pada pipa akibat gaya yang mengenai pipa pada saat proses tersebut.

Analisis yang dilakukan pada saat proses instalasi ditujukan untuk mengestimasi minimum *stress* yang terjadi pada daerah kritis agar sesuai dengan kriteria desain. Menurut Stewart dan Frazer (1966), dalam proses instalasi pipa, *pipeline* mendapat beban hidrodinamis secara langsung mengenai pipa, yaitu berupa gaya *drag* dan *internal force*, yaitu melalui gelombang atau arus. Beban tersebut dapat menyebabkan peningkatan tegangan pada pipa. Untuk itu diperlukan analisis agar besar tegangan yang terjadi pada pipa selama instalasi dapat diidentifikasi.

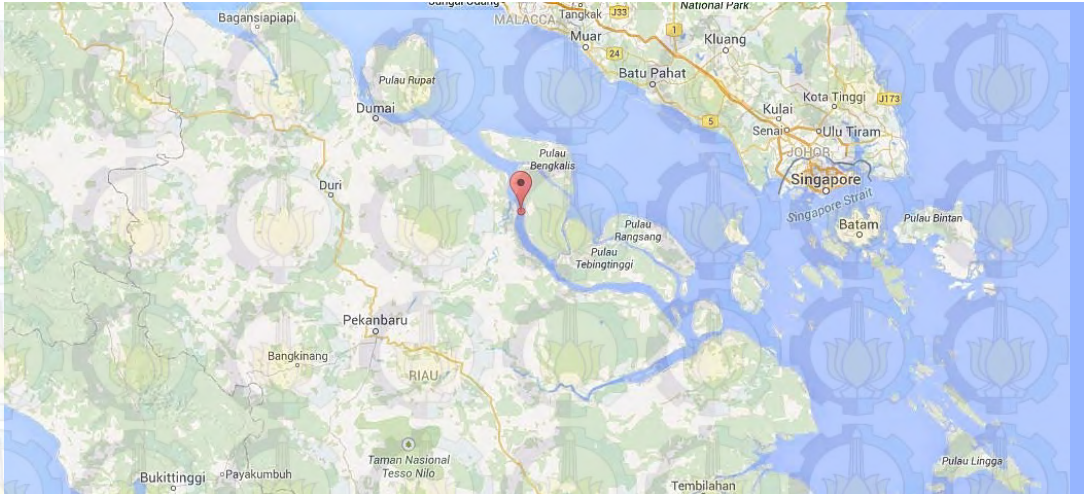
Pada Instalasi dengan metode *towing*, pipa difabrikasi di darat kemudian ditarik dari darat menuju tempat pemasangan di laut. Metode towing sendiri dibagi menjadi 3 jenis yaitu *Surface tow*, *Catenary tow*, dan *Bottom tow*. Metode instalasi pipa dengan Towing ditunjukkan seperti pada gambar 1.1 berikut ini.



Gambar 1.1 Metode Instalasi Pipa Bawah Laut Dengan Towing

(Sumber : <http://upload.wikimedia.org>)

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah milik Energi Mega Persada (EMP) Malacca Strait S.A. EMP Malacca Strait merencanakan memasang pipa gas bawah laut di Selat Lalang, Provinsi Riau. Pipa diinstal dengan metode *surface tow*. Diperlukan suatu analisa tentang instalasi pipa milik EMP Malacca Strait S.A. Analisa yang diperlukan antara lain gaya yang diterima pipa, kebutuhan pelampung, gaya tarik pipa, kebutuhan *bollard* dan *chain*, dan tegangan pada pipa pada saat proses *towing*.



Gambar 1.2 Peta Selat Lalang
(Sumber : maps.google.com)

Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisa tegangan (*stress*) yang terjadi pada *pipeline* saat *towing* pada proses instalasi dengan metode *surface tow*.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana gaya-gaya yang bekerja pada pipa saat *towing* pada proses instalasi dengan metode *surface tow* ?
2. Bagaimana konfigurasi pelampung (*floater*) yang digunakan untuk mengurangi berat dari pipa secara optimal ?
3. Bagaimana tegangan yang terjadi pada pipa untuk pembebanan yang dialami ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui gaya-gaya yang bekerja pada pipa saat *towing* pada proses instalasi dengan metode *surface tow*.
2. Untuk menentukan konfigurasi pelampung yang digunakan untuk mengurangi berat dari pipa secara optimal.
3. Mengetahui besarnya tegangan yang terjadi pada pipa untuk pembebanan yang dialami.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil analisa tersebut, diharapkan dapat bermanfaat sebagai bahan kajian dan suatu acuan dalam instalasi pipa bawah laut dengan menggunakan *Surface Towing Methode*, serta mengetahui tegangan yang diterima oleh pipa.

1.5 Batasan Masalah

Untuk memperjelas permasalahan tugas akhir ini, maka perlu adanya ruang lingkup pengujian atau asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. Data yang digunakan adalah milik Energi Mega Persada Malacca Strait S.A.
2. Respon dinamis pipa akibat gerakan *Tow Vessel* diabaikan.
3. Jenis pelampung (*floaters*) yang digunakan *Polyurethane Foam* dengan panjang 1 meter dan diameter 0.3 meter.
4. Proses *towing* dibagi menjadi dua *section*. *Section* pertama pipa dengan panjang 1900 meter ditarik menuju laut. Untuk *section* kedua, pipa pertama sepanjang 1900 meter disambung dengan pipa 1900 meter yang kedua. Kemudian ditarik keseluruhan menuju *platform*.
5. Kondisi lingkungan yang dipertimbangkan adalah gelombang, dan arus.
6. Arah datang gelombang adalah 90° dari terhadap pipa.
7. Pipa meletak pada *skid way* sepanjang garis pantai dan kemudian ditarik dengan arah tegak lurus pantai menuju *site* di lepas pantai.
8. *Skid way* menggunakan ongkak kayu dengan koefisien gesek statis 0,63 dan Koefisien gesek dinamis 0,3.
9. Kecepatan tarikan diasumsikan 500 meter per jam.

1.6 Sistematika Penulisan

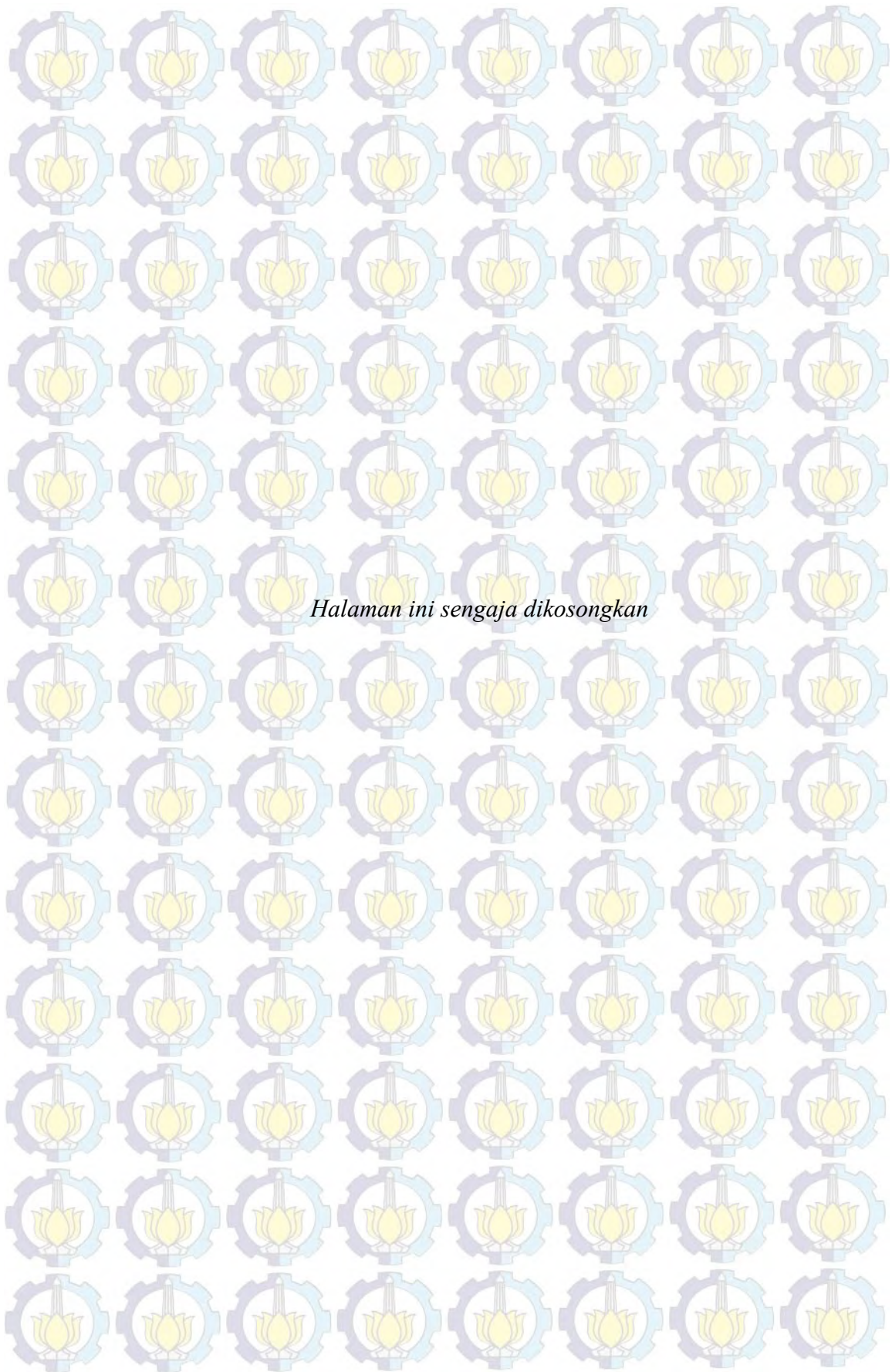
Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dimulai dengan pendahuluan pada bab pertama yang menjelaskan tentang latar belakang pengerjaan tugas akhir ini. Kemudian perumusan masalah, tujuan apa yang hendak dicapai, manfaat yang diperoleh, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori yang menjadi sumber dan referensi dalam tugas akhir ini dijelaskan dalam bab ke-dua. Secara rinci bab dua ini berisikan tinjauan pustaka yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir, dasar-dasar teori, rumusan rumusan dan aturan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir.

Pada bab ke-tiga penulisan laporan tugas akhir ini menjelaskan metodologi penelitian yang digunakan untuk mengerjakan tugas akhir. Dalam bab ini dicantumkan diagram alir maupun prosedur pengerjaan tugas akhir.

Hasil penelitian pada tugas akhir ini dibahas dan diterangkan pada bab ke-empat. Pada bab ini pengolahan data dilakukan untuk menjawab permasalahan yang ada dari tugas akhir ini. Sedangkan kesimpulan dan saran yang diperlukan untuk penelitian lebih lanjut dituangkan dalam bab ke-lima.

Daftar pustaka menampilkan seluruh informasi dan dokumen tertulis yang dijadikan landasan dan pengembangan penelitian. Penulisan daftar mengikuti aturan *Harvard System*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Instalasi pipa adalah proses pemasangan pipa di laut. Hal yang harus diperhatikan adalah beban lingkungan, karakteristik pipa, pengaruh gerakan kapal serta metode yang digunakan untuk proses instalasi pipa. Salah satu metode instalasi pipa adalah *Surface Tow*. Semua pengerjaan pengelasan dan penyambungan dilakukan di darat, setelah itu pipa ditarik dengan menggunakan *tow vessel* dengan kecepatan tertentu. Tentu saja selama penarikan dipengaruhi beban lingkungan yaitu gelombang dan arus laut.

Beban yang mengenai pipa dapat menyebabkan tegangan. Semakin besar beban yang diterima maka akan terjadi peningkatan tegangan yang cukup signifikan pada saat proses instalasi, terutama untuk pipa yang berdiameter besar. Hal ini dikarenakan berat pipa dan massa tambah yang timbul berpengaruh besar pada perilaku pipa saat instalasi dan pada sistem *tensioner*. Untuk itu diperlukan analisa *stress*, dan umumnya analisa *stress* dilakukan sebagai *time domain analysis*.

Metode untuk menganalisa pergerakan pipa diperkenalkan oleh Verner pada tahun 1984, namun hingga saat ini tidak ada metode analisa yang pasti terhadap pergerakan pipa selama instalasi. Hal ini dikarenakan perlunya analisa yang sangat kompleks akibat interaksi antara pipa dan pelampung. Sekitar tahun 2003 metode ini pernah dilakukan untuk instalasi pipeline di kepulauan Toronto dengan panjang bentangan pipa sekitar 1500 meter untuk jenis pipa High Density Polyethylene yang membentang dari danau Ohario hingga kepulauan Toronto. Analisa dilakukan dengan menggunakan Software Z Pipeline untuk menghitung tegangan global yang terjadi pada pipa.

2.2. Metode Instalasi Pipa Bawah Laut

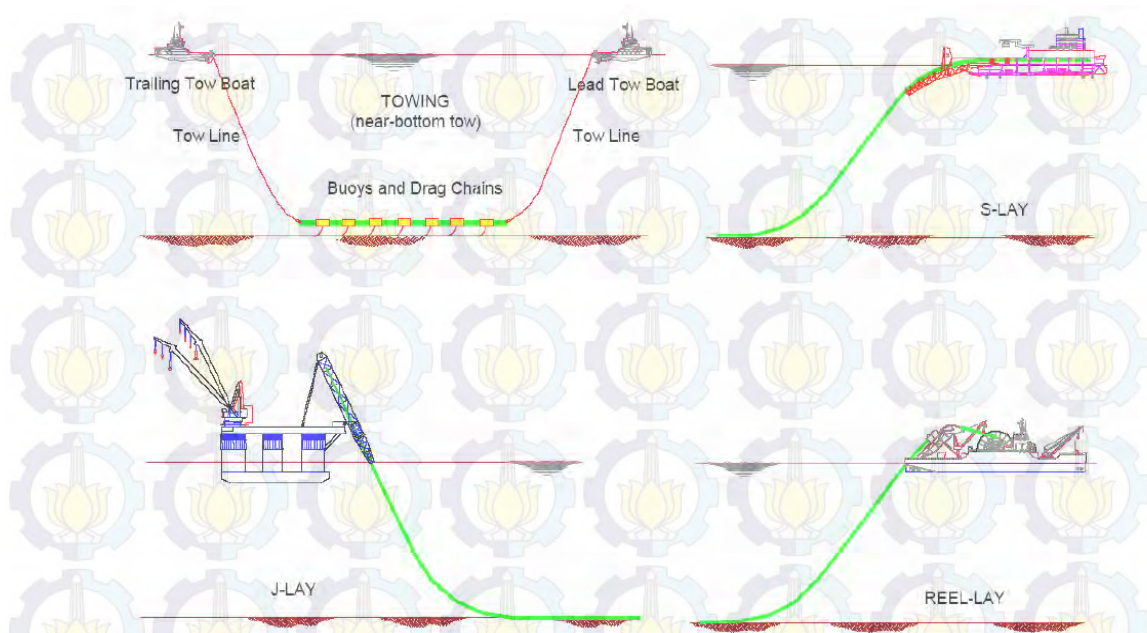
Terdapat 4 metode instalasi pipa bawah laut, yaitu :

1. Metode S-Lay

Perbedaan teknologi dan peralatan telah diadopsi untuk pemasangan pipa di lepas pantai. Salah satu metode untuk pemasangan pipa yaitu metode S-lay, disebut S-lay karena kurva pipa yang keluar dari kapal pemasang sampai seabed berbentuk seperti huruf S. Pipeline difabrikasi di atas kapal dengan satu, dua atau tiga joints. Membutuhkan stinger untuk mengontrol bending bagian atas dan tensioner untuk mengontrol bagian bawah. Laut yang lebih dalam membutuhkan stinger yang lebih panjang dan tensioner yang lebih kuat. S-lay laut dangkal hanya bisa dipakai sampai kedalaman sekitar 300m saja. Untuk yang lebih dalam lagi, *dynamic positioning* S-lay bisa dipakai sampai kedalaman 700m. Kecepatan pasang sekitar 4 – 5 km per hari. Ukuran pipa maksimum yang bisa diinstal adalah 60” OD (Allseas Solitair). Metode ini digunakan untuk perairan dangkal sampai dengan kedalaman 500 meter.

2. Metode J-Lay

Dalam metode ini, kapal menggunakan sebuah menara sentral, biasanya dikonversi dari kapal pengeboran, untuk melakukan pengelasan pada posisi vertikal dan peluncuran pipa dari menara. Pipa dilepaskan dengan cara yang membentuk kelengkungan sagbending, menghindari overbending, seperti yang ditunjukkan gambar dibawah. Kesulitan terbesar dalam metode ini adalah untuk melakukan pengelasan vertikal, pengelasan dilakukan hanya oleh satu section jadi lebih lambat dari S-lay dan untuk mempercepat proses, teknik pengelasan yang lebih canggih seperti *friction welding*, *electron beam welding* atau *laser welding* digunakan. Pipa yang akan dipasang mempunyai sudut yang mendekati vertikal sehingga tidak butuh tensioner. Teknik ini sangat cocok untuk instalasi di laut dalam. Beda dengan S-lay, J-lay tidak membutuhkan stinger. Kecepatan pasang sekitar 1-1.5 km per hari. Ukuran pipa maksimum yang bisa diinstal adalah 32” OD (Saipem S-7000). Meskipun membawa keuntungan dibandingkan dengan metode S-lay untuk perairan dalam. J-Lay memiliki tingkat produksi yang relatif rendah karena terbatasnya jumlah work station. Metode J-Lay sangat cocok untuk perairan dalam antara 500 feet sampai 1000 feet dan tidak cocok untuk perairan dangkal.



Gambar 2.1. Beberapa metode Instalasi pipa bawah laut

3. Metode Reel Lay

Dalam metode ini umumnya pipa yang dinstall adalah pipa berukuran diameter kecil atau pipa yang fleksibel. Pada instalasi ini dibutuhkan vessel yang memiliki pipe reel dengan ukuran besar karena pipa tersebut digulung dalam reel ini. Jika pipa ini dinstall secara horizontal maka akan berbentuk S-Lay namun jika dinstall secara vertikal maka akan berbentuk J-Lay. Namun metode ini terbatas untuk pipa dengan ukuran diameter kecil. Semua pipa dilas di darat dan digulung sampai ukurannya komplit atau sudah mencapai maksimum kapasitas reel-nya. Tidak semua coating bisa dipakai seperti concrete dan beberapa *coating* yang kaku. Tebalnya pipa ditentukan oleh kebutuhan minimum untuk menghindari ovalisation dan diameter reel atau carousel. Pipa juga menjadi sangat sensitif terhadap perubahan properti. Bisa diaplikasikan sampai kedalaman 3300 feet.

4. Metode Instalasi Towing

Proses instalasi dari metode *towing* ini adalah proses pengerjaan pipa, yaitu pengelasan dan penyambungan dilakukan di darat. Setelah itu, pipa diletakkan di tempat luncur (*skidway*). Sebelum diluncurkan pipa dipasang pelampung (*floaters*) agar dapat mengapung diatas laut. Selain itu, pipa juga dipasang *pull head* dan

dikaitkan di *tow vessel* yang memberikan tarikan menuju laut. Ketika pipa telah berada pada lokasi yang telah direncanakan, modul pengapung dilepas atau diisi dengan air, sehingga pipa akan mencapai dasar laut. Metode ini dikenal paling ekonomis karena tidak memerlukan banyak peralatan.



Gambar 2.2. Proses Instalasi *Towing*

(Sumber: <http://pihapublic.powercreations.com.au/images/piha-24--baing.jpg>)

2.2.1. Keuntungan dan Kerugian Setiap Metode Instalasi Pipa

Keuntungan dan kerugian setiap metode instalasi pipa menurut Yong Bai and Qiang Bai (2005), ditampilkan dalam sebuah tabel berikut :

Tabel 2.1. Keuntungan dan Kerugian Pipa Bawah Laut menurut Yong Bai and Qiang Bai (2005)

METODE INSTALASI		KELEBIHAN	KEKURANGAN
S-LAY	LAYING	- Dapat melakukan instalasi pipa di kedalaman 10 sampai 1500 meter dengan diameter pipa 6 sampai 40 inch.	- Membutuhkan biaya yang besar untuk pengadaan peralatan pendukung dan personel.
J-LAY		- <i>Laying Vessel</i> dapat memasang pipa sejauh 5 km per hari. - <i>Dynamic Positioning</i> kapal dapat dioperasikan tanpa jangkar yang tertambat.	- Dalam kondisi tertentu, <i>Laying vessel</i> harus melakukan banyak gerakan untuk menghindari terjadinya <i>stress</i> yang berlebihan dan kemungkinan <i>buckling</i> .
REELING		- Durasi pemasangan yang pendek.	- Diameter pipa dibatasi oleh besar gulungan dan tingkat ketegangan pipa sendiri. - Biasanya hanya pipa yang berdiameter kecil (maksimal sampai 16 inch) yang dapat diinstal dengan metode ini.
TOWING		- Lebih ekonomis dibanding fabrikasi yang dilakukan di lepas pantai. - Durasi fabrikasi yang panjang dan teknik fabrikasi yang lebih rumit dapat diaplikasikan dibanding dengan fabrikasi diatas <i>vessel</i> . - Fabrikasi pipa tidak terganggu oleh cuaca.	- Lapangan fabrikasi terbatas karena panjangnya pipa dan kesulitan dalam mengontrol pipa yang panjang saat mulai diinstal. - Panjang maksimal panjang pipa yang memungkinkan menggunakan metode ini adalah 7 km. - Hanya bisa dipasang dalam kondisi pipa lurus. Kesulitan apabila dipasang dalam keadaan menekuk.

2.3. Gaya – gaya yang Bekerja Pada Pipa

2.3.1. Berat Pipa dan Gaya Apung

Salah satu pertimbangan dalam perhitungan kestabilan pipa bawah air adalah berat pipa didalam air sehingga mampu menahan gaya-gaya yang dapat membuat pipa menjadi tidak stabil. Berat pipa dapat dihitung berdasarkan berat bajanya (*steel pipe*), lapisan anti korosi (*corrothion coating*), lapisan beton (*concrete coating*) dan lapisan lainnya, serta isi yang ada didalam pipa.

Berikut adalah perhitungan berat pipa, yaitu dengan memperhitungkan berat semua lapisan pada pipa.

- Diameter total pipa

$$D_{tot} = D_{st} + 2 \cdot t_{corr} + 2 \cdot t_{conc} \quad (2.1a)$$

- Berat baja (*steel pipe*)

$$W_{st} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{st}^2 - D_{t}^2) \cdot \rho_{st} \cdot g \quad (2.1b)$$

- Berat lapisan korosi (*corrosion coating*)

$$W_{corr} = \frac{\pi}{4} \cdot [(D_{st} + 2 \cdot t_{corr})^2 - D_{st}^2] \cdot \rho_{corr} \cdot g \quad (2.1c)$$

- Berat isi pipa (*content*)

$$W_{cont} = \frac{\pi}{4} \cdot D_i^2 \cdot \rho_{cont} \cdot g \quad (2.1d)$$

- Berat total pipa

$$W_{tot} = W_{st} + W_{corr} + W_{conc} + W_{cont} \quad (2.1e)$$

Berat pipa diatas pipa pada rumus diatas merupakan berat pipa sebelum masuk ke dalam air. Diketahui bahwa setiap benda yang masuk ke dalam air akan mengalami gaya apung. Dikenal dengan hukum Archimedes, bahwa sebuah benda yang seluruhnya atau sebagian tercelup didalam fluida akan mengalami gaya apung (*bouyancy*) ke atas dengan suatu gaya yang sama dengan berat fluida yang dipindahkan volume dari benda tersebut. Gaya apung ini dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$F_{buoyancy} = \rho_{fluida} \cdot V_{benda \text{ yang tercelup}} \cdot g \quad (2.2)$$

Gaya apung dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$B = \rho_{sw} \cdot V \cdot g = \frac{\pi}{4} \cdot D_{tot}^2 \cdot \rho_{sw} \cdot g \quad (2.3)$$

Sehingga berat total pipa dalam air (*submerge weight*) adalah:

$$W_s = W_{tot} - B = W_{st} + W_{corr} + W_{cont} + W_{conc} - B \quad (2.4)$$

Untuk menghindari melayangnya pipa dipermukaan air, maka berat pipa tidak boleh kurang dari gaya apungnya dan diusahakan minimal 10% dari berat gaya apungnya. Dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$W_{tot}/B \geq 1.1 \quad (2.5a)$$

Atau ditulis juga dengan berat pipa yang terendam di dalam air sebagai berikut :

$$(W_s + B)/B \geq 1.1 \quad (2.5b)$$

Dari persamaan diatas faktor g dapat saling meniadakan. Sehingga dalam hal ini, satuan dari gaya berat pipa dan gaya apungnya dapat dianggap sebagai massa per satuan panjang dari pipa.

Keterangan :

D_{st} = Diameter terluar pipa baja (steel) (m)

D_{corr} = Diameter terluar lapisan korosi (m)

D_{tot} = Diameter total dari pipa (m)

D_i = Diameter dalam pipa baja (m)

T_{corr} = Tebal lapisan korosi (m)

T_{conc} = Tebal lapisan beton (*concrete*) (m)

W_{st} = Berat dari pipa baja (N/m)

W_{corr} = Berat dari lapisan korosi (N/m)

W_{conc} = Berat dari lapisan beton (N/m)

W_{cont} = Berat isi dalam pipa (N/m)

W_s = Berat pipa dalam air (N/m)

ρ_{st} = Massa jenis pipa baja (Kg/m^3)

ρ_{corr} = Massa jenis lapisan korosi (Kg/m^3)

ρ_{conc} = Massa jenis lapisan beton (Kg/m^3)

ρ_{cont} = Massa jenis isi dalam pipa (Kg/m^3)

ρ_{sw} = Massa jenis air laut (Kg/m^3)

B = Gaya apung (Buoyancy) (N/m)

2.3.2. Beban Gelombang

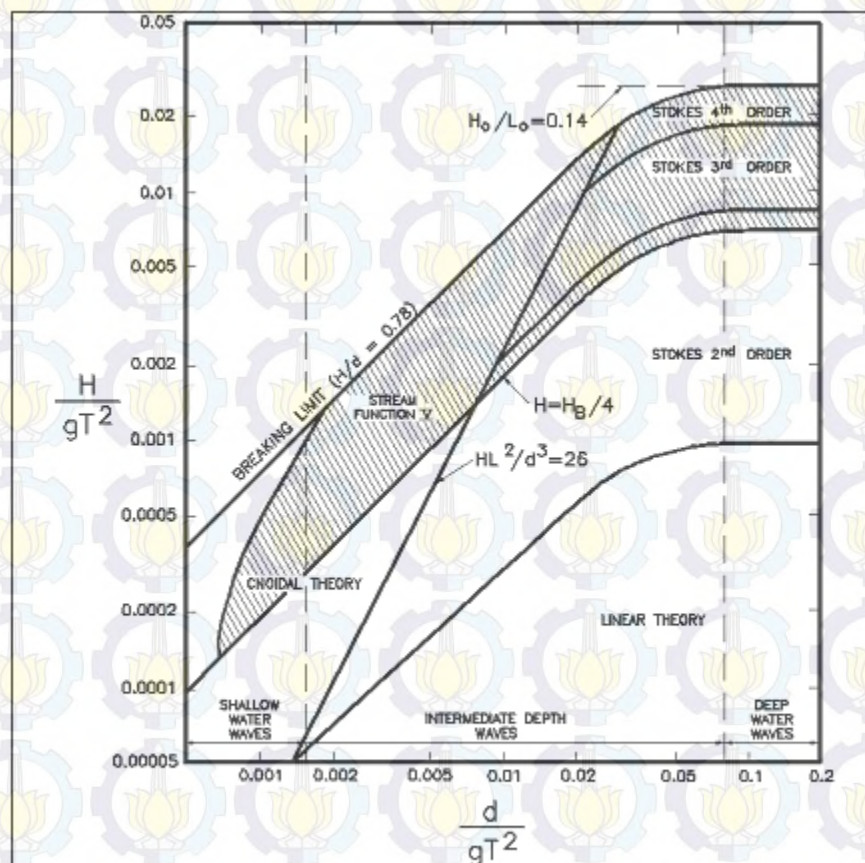
- **Penentuan Teori Gelombang**

Teori gelombang yang akan digunakan dalam perancangan dapat ditentukan dengan menggunakan formulasi matematika dari teori gelombang linier (Mousseli, 1981).

Sebagai berikut:

$$\left[\frac{H}{gT^2} \right] \text{ dan } \left[\frac{d}{gT^2} \right] \quad (2.6)$$

Hasil dari formulasi matematika tersebut kemudian disesuaikan dengan grafik. Daerah aplikasi teori gelombang “*Regions of Validity of Wave Theories*”, sehingga dapat diketahui teori gelombang yang akan digunakan.



Gambar 2.3. Grafik *Region of Validity* (Mousseli, 1981)

- **Perhitungan Properti Gelombang**

Panjang gelombang sebagai fungsi dari kedalaman untuk teori gelombang stokes orde 2 diperoleh dari iterasi persamaan berikut:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (2.7a)$$

- **Teori gelombang stokes orde 2**

Persamaan kecepatan dan percepatan partikel gelombang pada arah horisontal untuk teori gelombang Stokes Orde 2 dapat diketahui dari persamaan berikut (Chakrabarti, 1987) :

Kecepatan horisontal :

$$\mu = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh^4 kd} \quad (2.7b)$$

Keterangan :

d = Kedalaman laut (m)

k = Angka gelombang

H = Tinggi gelombang pada kedalaman yang ditinjau (m)

T = Periode gelombang, (s)

\emptyset = Frekuensi gelombang (rad/s)

h = Kedalaman laut (m)

s = Jarak vertikal titik yang ditinjau dari dasar laut (m)

y = Jarak vertikal suatu titik yang ditinjau terhadap muka air diam (m)

L = Panjang gelombang pada kedalaman yang ditinjau (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

2.3.3. Beban Arus

Selain gelombang, arus laut juga memberikan gaya terhadap struktur lepas pantai.

Arus akibat pasang surut memiliki kecepatan yang semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman sesuai fungsi non-linear. Sedangkan arus yang disebabkan oleh angin memiliki karakter yang sama, tetapi dalam fungsi linear.

Kecepatan arus tersebut dirumuskan dalam formulasi matematis berikut :

$$\frac{U}{U_0} = \frac{Y}{Y_0} \quad (2.7c)$$

Keterangan :

U = kecepatan arus pada ketinggian y dari seabed (m/s)

U₀ = kecepatan arus yang diketahui pada y₀ (m/s)

D = diameter luar pipa (m)

Y = kedalaman laut (m)

Y₀ = ketinggian orbit partikel dari seabed, m

- **Kecepatan Efektif Partikel Air**

Persamaan efektif sebagai berikut (Mousselli, 1981) :

$$Ue^2 = 0.788U_0^2 \left(\frac{D_c}{Y_0} \right)^{0.286} \quad (2.7d)$$

Keterangan :

U = Kecepatan horisontal partikel air pada ketinggian y dari seabed (m/s)

U₀ = Kecepatan horisontal partikel air yang diketahui pada y (m/s)

U_e = Kecepatan efektif air pada ketinggian y (m/s)

D = Diameter luar pipa (m)

y = Kedalaman laut (m)

y₀ = Ketinggian orbit partikel dari seabed (m)

2.3.4. Gaya Hidrodinamika

Gaya-gaya hidrodinamis seperti gaya *drag*, gaya inersia dan gaya angkat, terjadi akibat adanya gerakan relatif antara pipa dengan fluida disekitarnya. Dengan adanya gerakan relative ini, maka akan timbul kecepatan dan percepatan relative partikel air. Gerakan ini dapat disebabkan gelombang dan arus.

- **Gaya Drag (*Drag Force*)**

Gaya drag yang bekerja pada struktur pipa di dasar laut persatuan panjang pipa dirumuskan berikut ini (Mousselli, 1981) :

$$F_d = \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot D \cdot Ue^2 \quad (2.8)$$

Keterangan :

ρ = Densitas Fluida (Kg/m^3)

C_d = Koefisien Drag

D = Diameter terluar pipa (m)

U_e = Kecepatan efektif partikel (m/s)

- **Gaya Inersia (*Inersia Force*)**

Gaya inersia yang bekerja pada struktur pipa persatuan panjang dirumuskan sebagai berikut (Mousselli, 1981) :

$$F_i = \rho \cdot C_i \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot U_e^2 \quad (2.9)$$

Keterangan :

ρ = Densitas Fluida (Kg/m^3)

C_i = Koefisien Inersia

D = Diameter terluar pipa (m)

dU/dt = Percepatan horizontal partikel air (m/s^2)

- **Gaya Angkat (*Lift Force*)**

Gaya angkat (lift force) yang bekerja pada struktur pipa bawah laut sebagai berikut (Mousselli, 1981) :

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_L \cdot D \cdot U_e^2 \quad (2.10)$$

Keterangan :

ρ = Densitas Fluida (Kg/m^3)

C_L = Koefisien Lift

D = Diameter terluar pipa (m)

U_e = Kecepatan efektif partikel (m/dt)

2.3.5. Koefisien Hidrodinamis

Banyak penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan harga koefisien hidrodinamis, baik dilakukan di laboratorium maupun langsung dilakukan di

lapangan. Hasil penelitian sangat beragam. Ketidak seragaman hasil penelitian tersebut disebabkan oleh banyak faktor, antara lain jumlah dan arah gelombang, perbedaan teori gelombang yang digunakan, kekasaran akibat *marine growth*, arus, formasi *vortex* dan lainnya. Perintis dalam penelitian nilai koefisien hidrodinamis tersebut adalah Keulegan dan Carpenter (Chakrabati, 1987).

Penelitian di laboratorium dilakukan untuk mendapat hubungan antara C_d , C_m dan C_l dengan *Reynold Number* (Re) dan *Keulegan Carpenter Number* (KC), sehingga diketahui bahwa koefisien hidrodinamis tergantung pada dua parameter non-dimensional tersebut. Perumusannya sebagai berikut (Sarpkaya, 1981) :

Reynold Number

$$Re = \frac{UeD}{\nu} \quad (2.11a)$$

Keulegan Carpenter

$$K = \frac{UeT}{D} \quad (3.11b)$$

Koefisien Kekasaran Pipa (k) :

$$E = k.D \quad (3.11c)$$

Hasil dari perhitungan parameter tersebut dimasukkan pada grafik variasi koefisien *drag*, *lift*, dan inersia. Berikut ini grafik untuk mencari koefisien drag dan koefisien massa. Hasil dari perhitungan parameter tersebut dimasukkan pada grafik variasi koefisien *drag*, *lift*, dan inersia. Desainer harus dapat menerapkan nilai koefisien hidrodinamis sesuai dengan keadaan sebenarnya di lapangan. Beberapa pihak mempunyai cara tersendiri dapat menentukan koefisien hidrodinamis. Salah satunya adalah koefisien hidrodinamis yang direkomendasikan oleh Mousselli (1981) untuk desain pipa.

2.3.6. Gaya Hidrodinamis Pipa

Gaya hidrodinamis pada pipa dapat dihitung dengan pendekatan persamaan Morrison (Tatsuta dan Kimura, 1985) :

$$q_n = \frac{1}{2} \rho_w C_d D U_n |U_n| + (1 + Ca^n) \rho_w V u \left(\frac{dv}{d\tau n} \right) - Ca^n \rho_w V u \ddot{r}_n \quad (3.12)$$

$$q_t = \frac{1}{2} \rho_w C_f A U_t |U_t| + (1 + Ca') \rho_w V u \left(\frac{dv}{d\tau n} \right) - Ca' \rho_w V u \ddot{r}_t \quad (3.13)$$

keterangan :

$v(s, \tau)$ = kecepatan fluida

$u(s, \tau)$ = kecepatan relative fluida terhadap pipa

$r(s, \tau)$ = vector dari pipa

C_d = koefisien drag

D = proyeksi luas persatuan panjang

Ca'' = koefisien added mass pada arah normal

C_f = koefisien gesekan

A = luas permukaan persatuan panjang

V_u = volume pipa persatuan panjang

2.4. Beban-Beban Pada Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan dalam operasinya menerima beban yang sangat banyak dan kompleks. Beban-beban pada sistem perpipaan dapat diklasifikasikan secara sederhana sebagai berikut

2.4.1. Beban Sustain (*Sustain Load*)

Beban *sustain* merupakan beban yang dialami oleh instalasi sistem pipa secara terus-menerus. Beban ini merupakan kombinasi beban yang diakibatkan oleh tekanan internal dan beban berat. Beban berat yang dialami oleh sistem perpipaan dapat digolongkan menjadi dua jenis:

- *Live load*

meliputi beban fluida yang mengalir melalui system perpipaan atau fluida lain yang digunakan untuk pengujian system perpipaan tersebut.

- *Dead load*

meliputi berat komponen-komponen system perpipaan, berat isolator, dan beban permanen yang bekerja pada system perpipaan tersebut.

2.4.2. Beban Occasional (*Occasional Load*)

Beban *occasional* adalah beban dinamik pada sistem perpipaan yang dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu :

- Beban gelombang :

Beban yang ditimbulkan oleh gelombang yang mengenai pipa.

- Beban gempa :

Beban akibat gempa bumi yang terjadi di tempat pemasangan sistem perpipaan.

2.4.3. Beban ekspansi termal (*Expansion Load*)

Beban termal adalah beban yang timbul akibat ekspansi termal yang terjadi pada sistem perpipaan. Beban termal ini dapat dibagi menjadi:

- Beban termal akibat pembatasan gerak oleh tumpuan saat pipa mengalami ekspansi.
- Beban termal akibat perbedaan temperatur yang besar dan sangat cepat dalam dinding pipa sehingga menimbulkan tegangan.
- Beban akibat perbedaan koefisien ekspansi pipa yang dibuat dari dua logam yang berbeda.

2.5. Perhitungan Moda Kegagalan Pada Pipa

Perhitungan moda kegagalan harus mencakup desain tekanan internal, *collapse* (*external pressure*), kombinasi tekanan dan bending momen serta perambatan *buckling* (*buckle propagation*). Masing-masing moda kegagalan tersebut akan didiskusikan sebagai berikut :

2.5.1. Desain Untuk *Internal Pressure*

Desain internal pressure dibuat agar dapat tahan terhadap tekanan fluida yang melalui *pipeline* (kondisi internal operasi) dan pada saat proses dimana pipa diberi tekanan air (*hydrotest*). External pressure dimasukkan dalam desain ini, yang mencakup tekanan total dari pipa, dimana tekanan total terjadi maksimum di permukaan air (*at zero water depth*) , dimana *external pressure* sama dengan nol.

Perhitungan untuk tekanan internal dominan digunakan untuk desain ketebalan *pipeline* (Braskoro dkk, 2004).

2.5.2. Desain Untuk *Collapse*

Ketika pipa masuk kekedalaman air, tekanan hidrostatik akan semakin besar dan mungkin akan mengakibatkan keruntuhan terhadap dinding pipa. Perhitungan tekanan fluida dalam pipa (*pressure containment*) tidak dimasukkan dalam kondisi ini, oleh karena itu ketebalan dinding *pipeline* harus didesain untuk perhitungan gaya hidrostatik pada kondisi beban saat kedalaman maksimum.

2.5.3. Desain Kombinasi Untuk Tekanan dan *Bending Moment*

Kondisi ini terjadi pada saat proses instalasi, dimana tekanan eksternal diakibatkan oleh aliran fluida diluar pipa. Tarikan secara aksial dipengaruhi oleh tegangan (*tension*) sebagai akibat penggunaan *tensioner of holding clamp* pada kapal instalasi dan bending momen dihasilkan oleh bentuk (*catenaries shape*) *pipeline*. Ketika *pipeline* bergerak ke bawah air akan terjadi tegangan aksial serta tekanan eksternal. Pada saat mencapai panjang bentangan tertentu maka gaya yang diterima pipa akibat beban dari fluida diluar pipa akan semakin besar. Hal ini akan mempengaruhi kekuatan dari pipa itu sendiri.

2.5.4. Desain Untuk Perambatan *Buckle*

Selama proses instalasi dan operasi, akan adanya kemungkinan *pipeline* mengalami kerusakan yang disebabkan terjadinya *local buckling*. Ketika *local buckle* terjadi pada satu titik, *buckle* akan merambat sepanjang *pipeline* sampai *external pressure* kurang dari tekanan *buckle propagation*. Fenomena ini ditemukan pada tahun 1970 oleh Battelle Institute di Ohio.

Buckle propagation bisa dicegah dengan menambah ketebalan dinding *pipeline* atau dengan memberi *buckle arrestors* sepanjang pipa yang rentan mengalami *buckling*. Untuk *pipeline* pada laut dalam umumnya menggunakan *buckle arrestor*, kerana penambahan ketebalan untuk melawan *buckle propagation* membutuhkan biaya yang relatif tinggi. Ada beberapa tipe dari eksternal dan internal *buckle arrestors*, seperti *integral ring*, *welded ring*, *welded sleeve*, *heavy-wall integral cylinder*, dan *grouted free-ring arrestors*.

2.6. Konfigurasi Pelampung (*Floater*)

Pelampung atau *Floater* adalah alat tambahan yang digunakan untuk mengurangi gaya berat pipa didalam air. Dalam menganalisa instalasi pipa dengan metode *surface towing*, perlu diketahui konfigurasi dari pelampung (*floater*) itu sendiri. Konfigurasi tersebut antara lain, jenis pelampung, dimensi pelampung, jumlah pelampung yang dibutuhkan, dan jarak antar pelampung.

Jumlah dari *Float Drum* yang dibutuhkan keseluruhan:

$$N_f = \frac{F_{bp}}{F_{bf}} \quad (2.14)$$

Dengan :

N_f = Jumlah pelampung yang dibutuhkan keseluruhan (pcs)

F_{bp} = Gaya apung pipa (m^3)

F_{bf} = Gaya apung pelampung (m^3)

2.7. Perhitungan Spesifik *Pulling Force*

Perhitungan *pulling force* mencakup banyak kriteria, sehingga perlu adanya analisa lebih dalam mengenai pengaruh *drag force* dan kecepatan tarikan yang diinginkan. *Drag force* tidak hanya dialami oleh pipa, tetapi juga dialami oleh *floater*.

2.7.1. Perhitungan Gaya Tarik

Perhitungan yang akan dipakai adalah :

$$F_p = \mu.L.W \quad (2.15)$$

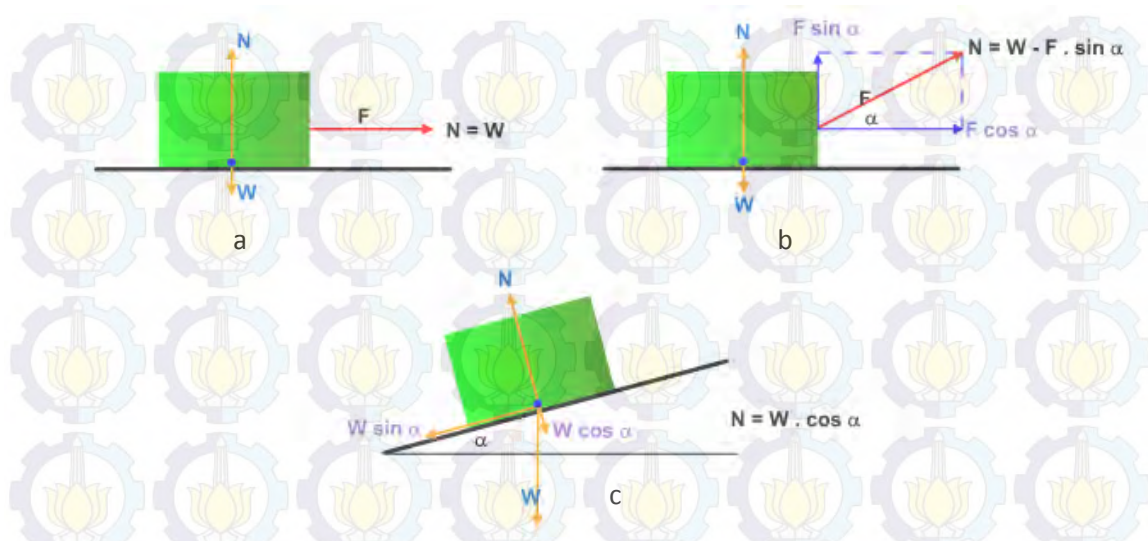
Dengan :

F_p = Gaya Tarik (N)

W = Berat pipa (N/m)

L = Panjang pipa yang ditarik (m)

μ = Faktor gesek longitudinal



Gambar 2.4. Gaya geser dan gaya tarik. (a) Gaya tarik searah dengan benda. (b) Gaya tarik yang mempunyai sudut terhadap benda. (c) Gaya tarik pada benda miring.

Rumus diatas digunakan jika tarikan searah dengan benda seperti gambar diatas.

Tetapi jika tarikan mempunyai sudut terhadap benda, yang ditunjukkan gambar 2.4.

b maka gaya normal dan tarikan benda menjadi :

- Gaya-gaya dalam arah sumbu x

karena kecepatan konstan, maka :

$$a_x = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F \cos \theta - f_k = 0$$

$$F \cos \theta = f_k$$

- Gaya-gaya dalam arah sumbu y

$$N + F \sin \theta - mg = 0$$

$$N + F \sin \theta = mg$$

Dengan mensubstitusi kedua persamaan tersebut maka dapat ditentukan gaya F yang dibutuhkan untuk menarik benda.

Untuk gambar 2.4.c benda bergerak pada bidang miring, maka :

- Gaya yang bergerak pada sumbu x

$$w_x = w \sin \theta$$

- Gaya yang bergerak pada sumbu y

$$w_y = w \cos \theta$$

- Gaya Normal

$$N = w_y = w \cos \theta$$

2.7.2. Gaya Drag berdasarkan *Frontal Area* Pipa

Sebuah benda dalam suatu fluida akan mengalami gaya drag bila benda itu diam dan fluidanya yang bergerak atau benda bergerak dengan fluida yang diam atau keduanya sama-sama bergerak dengan kecepatan yang berbeda.

$$F \text{ drag pipe} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{sea}} \cdot V^2 \cdot C_d \cdot A_p \quad (2.16)$$

Dengan :

ρ_{sea} = Massa jenis air laut (kg/m^3)

V = Kecepatan tarikan (m/s)

C_d = *Coefficient Drag*

A_p = *Frontal Area Pipe* (m^2)

2.7.3. Gaya Drag berdasarkan *Frontal Area Floater*

Floater yang digunakan oleh penulis mempunyai bentuk tabung. Dalam proses *towing* ditariknya pipa dan *floater* menimbulkan gaya drag pula yang dapat menjadi hambatan dan menambah beban tarik. Hal tersebut dapat dihitung sebagai berikut :

$$F \text{ drag float} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{sea}} \cdot V^2 \cdot C_d \cdot N_f \quad (2.17)$$

Dengan :

ρ_{sea} = Massa jenis air laut (kg/m^3)

V = Kecepatan tarikan (m/s)

C_d = *Coefficient Drag*

N_f = Jumlah *floater* yang dibutuhkan (pcs)

2.7.4. Perhitungan *Pulling Force* Total

Dalam menganalisa sebuah permasalahan penting untuk mengkaji setiap kondisi meski kondisi terbaik sudah terlihat. Dalam kasus ini penulis juga menganalisa kondisi *shore pull* pada saat proses ini dijalankan tanpa menggunakan *buoyancy aid*.

Rumus yang digunakan adalah

$$F_{pull} = F_{drag\ pipe} + F_{drag\ float} + F_{res_buoy} \quad (2.19)$$

Dengan :

F_{dp} = gaya drag yang dialami pipa (N)

F_{df} = gaya drag yang dialami *float* (N)

F_{res} = tahanan gaya yang diperoleh dengan adanya *buoyancy* (N)

2.8 Tegangan (*Stress*)

Tegangan adalah besaran pengukuran intensitas gaya atau reaksi dalam yang timbul persatuan luas. Tegangan dibedakan menjadi dua yaitu *engineering stress* dan *true stress*. Dalam praktek teknik, gaya umumnya diberikan dalam *pound* atau *newton*, dan luas yang menahan dalam inch^2 atau mm^2 . Akibatnya tegangan biasanya dinyatakan dalam pound/inch^2 yang sering disingkat *psi* atau Newton/mm^2 (MPa). Tegangan yang dihasilkan pada keseluruhan benda tergantung dari gaya yang bekerja.

Dalam praktek, kata tegangan sering memberi dua pengertian :

- Gaya per satuan luas atau intensitas tegangan, yang umumnya ditunjukkan sebagai tegangan satuan.
- Gaya dalam total suatu batang tunggal yang umumnya dikatakan sebagai tegangan total.

Pada saat benda menerima beban sebesar P kg, maka benda akan bertambah panjang sebesar ΔL mm. Saat itu pada material bekerja tegangan yang dapat dihitung dengan rumus (*engineering stress*) :

$$\sigma = \frac{F}{A_o} \quad (2.20)$$

Dengan :

σ = tegangan (pascal, N/m²)

F = beban yang diberikan (Newton, dyne)

A_o = luas penampang mula - mula (mm²)

Sedangkan true stress adalah tegangan hasil pengukuran intensitas gaya reaksi yang dibagi dengan luas permukaan sebenarnya (actual). *True stress* dapat dihitung dengan:

$$\sigma = A F \quad (2.21)$$

Dengan:

σ = *True stress* (MPa)

F = Gaya (N)

A = Luas permukaan sebenarnya (mm²)

Tegangan normal dianggap positif jika menimbulkan suatu tarikan (*tensile*) dan dianggap negatif jika menimbulkan penekanan (*compression*)

2.8.1. Konsep Tegangan

Tegangan Normal

Tegangan normal dapat diakibatkan karena dua hal yaitu yang disebabkan oleh gaya aksial dan lenturan.

- Disebabkan oleh gaya aksial

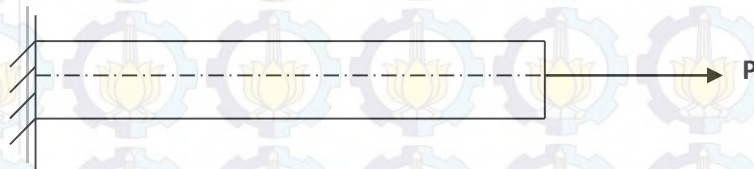
Pada Gambar 2.5. batang mengalami pembebanan aksial akibat gaya tarik P. Akibat gaya ini, batang akan mengalami tegangan aksial (Popov, 1993):

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.22)$$

dengan :

A = luas penampang lintang (m^2)

P = Gaya Tarik (N)



Gambar 2.5. Pembebanan Aksial pada Batang Tubular

(Sumber: Popov, 1993)

- Disebabkan oleh lenturan

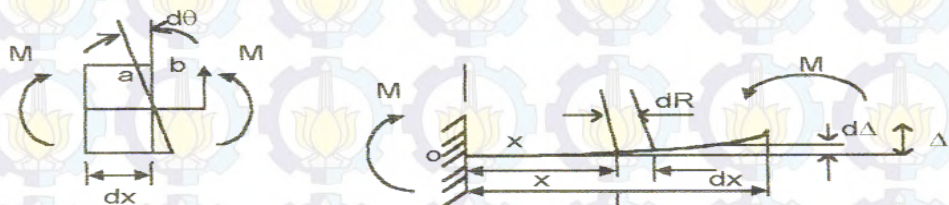
Selain akibat gaya aksial, tegangan dapat diakibatkan juga oleh momen lentur murni akibat kopel M yang terjadi di setiap ujungnya (**Gambar 2.6**). Tegangan yang terjadi akibat momen ini dikenal sebagai *bending stress* atau tegangan lentur. ada dua kondisi lenturan yaitu :

Pada batang lurus

$$\sigma = -\frac{My}{I} \quad (2.23)$$

Pada lengkung simetris

$$\sigma = \frac{My}{Ae(R-y)} \quad (2.24)$$



Gambar 2.6. Pembebanan Momen Kopel pada Batang Tubular

(Sumber: Popov, 1993)

dimana :

x = jarak dari sumbu netral ke sembarang titik disepanjang L pada penampang (gambar 2.6).

I_z = momen inersia bidang penampang melintang terhadap sumbu z

Interaksi antara kedua jenis tegangan aksial di atas dalam kaitannya dengan superposisi antara kedua jenis tegangan aksial tersebut, menghasilkan koreksi pada besar tegangan lentur. Pengurangan besar tegangan lentur akibat adanya tegangan tarik dapat diabaikan tetapi penambahan besar tegangan lentur akibat terbentuknya tegangan *buckling* yang disebabkan oleh tegangan aksial tekan perlu diperhatikan.

2.9. Balok Dua Bahan

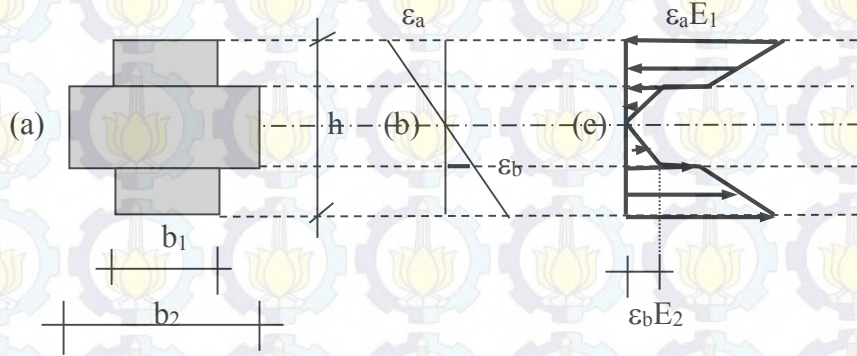
Dalam praktek, komponen struktur tidak hanya terdiri dari satu bahan saja seperti baja atau kayu tetapi komponen struktur dapat juga terdiri dari kombinasi 2 bahan misalnya bahan beton dikombinasi dengan bahan baja, contohnya antara lain beton bertulang. Bahan kayu juga dapat dikombinasi dengan bahan baja, dengan bahan baja yang berfungsi sebagai penguat.

Apabila sebuah penampang balok terdiri dari dua bahan (bahan 1 dan bahan 2) mengalami momen lentur, seperti pada Gambar 2.7.a, maka deformasi (regangan) yang terjadi pada penampang akan tetap sebanding dengan jaraknya ke garis netral, Gambar 2.7.b.

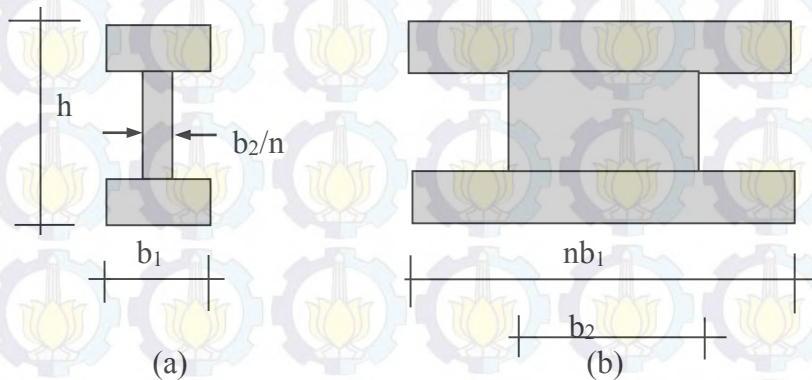
Walaupun regangan yang terjadi sama pada pertemuan kedua bahan, berdasarkan hukum Hooke tegangan yang terjadi pada serat penampang pada masing-masing bahan akan berbeda besarnya, hal ini diakibatkan oleh nilai modulus elastisitas yang berbeda pada masing-masing bahan, Gambar 2.7.c.

Dalam menghitung tegangan pada penampang dengan dua bahan maka penampang dibuat menjadi salah satu bahan padanan dengan ukuran penampang sesuai dengan perbandingan nilai modulus elastisitas kedua bahan tersebut ($n = E_1/E_2$), terlihat

pada Gambar 2.8.a dan Gambar 2.8.b. Selanjutnya dihitung posisi garis netral sesuai dengan prinsip penampang satu bahan. Nilai tegangan yang diperoleh disesuaikan dengan perbandingan nilai modulus elastisitas kedua bahan tersebut.



Gambar 2.7. Diagram Tegangan dan Regangan pada Penampang Dua Bahan
(Sumber: Popov, 1993)



Gambar 2.8. (a) Padanan dalam bahan 1, (b) Padanan dalam bahan 2

2.10. Kekuatan Lapisan Beton (*Concrete Coating*)

Dalam hal tidak ada data lain yang tersedia kriteria berikut harus digunakan. Mean regangan overbend:

$$\varepsilon_{mean} = -\frac{D}{2R} + \varepsilon_{axial} \quad (2.25)$$

harus memenuhi:

$$\gamma_{cc} \varepsilon_{mean} \geq \varepsilon_{cc} \quad (2.26)$$

Dimana :

D = diameter luar pipa

R = radius stinger

ϵ_{mean} = dihitung berarti ketegangan overbend

ϵ_{axial} = kontribusi regangan aksial

γ_{cc} = 1,05 faktor keamanan yang menyebabkan kegagalan beton

ϵ_{cc} = batas berarti ketegangan memberikan menghancurkan beton. Regangan positif menunjukkan regangan tarik.

Regangan *overbend* rata-rata, dimana kehancuran beton pertama kali terjadi tergantung pada kekakuan pipa, kekuatan beton dan ketebalannya, gaya aksial dan perlawanan geser lapisan korosi. Kehancuran terjadi pada rata-rata regangan *overbend* yang rendah untuk kekuatan beton yang rendah, gaya aksial yang rendah, pipa dengan kekakuan yang lebih tinggi dan tahanan geser yang tinggi pula. Jika tidak ada informasi lain yang tersedia, kehancuran beton dapat diasumsikan terjadi pada regangan beton (pada serat tekan di tengah ketebalan beton) mencapai 0,2%.

Untuk ketebalan lapisan beton 40 mm atau lebih, bersamaan dengan lapisan korosi aspal, konservatif perkiraan ϵ_{cc} adalah 0,22% untuk 42 "pipa dan 0,24% untuk 16" pipa, dengan interpolasi linear di antara. Referensi ini dibuat untuk Endal (1995) atau Ness (1995).

2.10.1. Kuat Tekan Concrete

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2004).

Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang lazim digunakan berbentuk silinder. Dimensi benda uji standar adalah tinggi 300 mm dan diameter 150 mm. Tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah standar ASTM C39-86. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan

tekan tertinggi (f_c') yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan (Dipohusodo, 1996).

Kekuatan tekan beton dapat dihitung dengan rumus :

$$f_c' = \left(\frac{E_{conc}}{4700} \right)^2 \quad (2.27)$$

Dengan :

f_c' = kuat tekan tertinggi (Mpa)

E_{conc} = Modulus Elastisitas beton (Mpa)

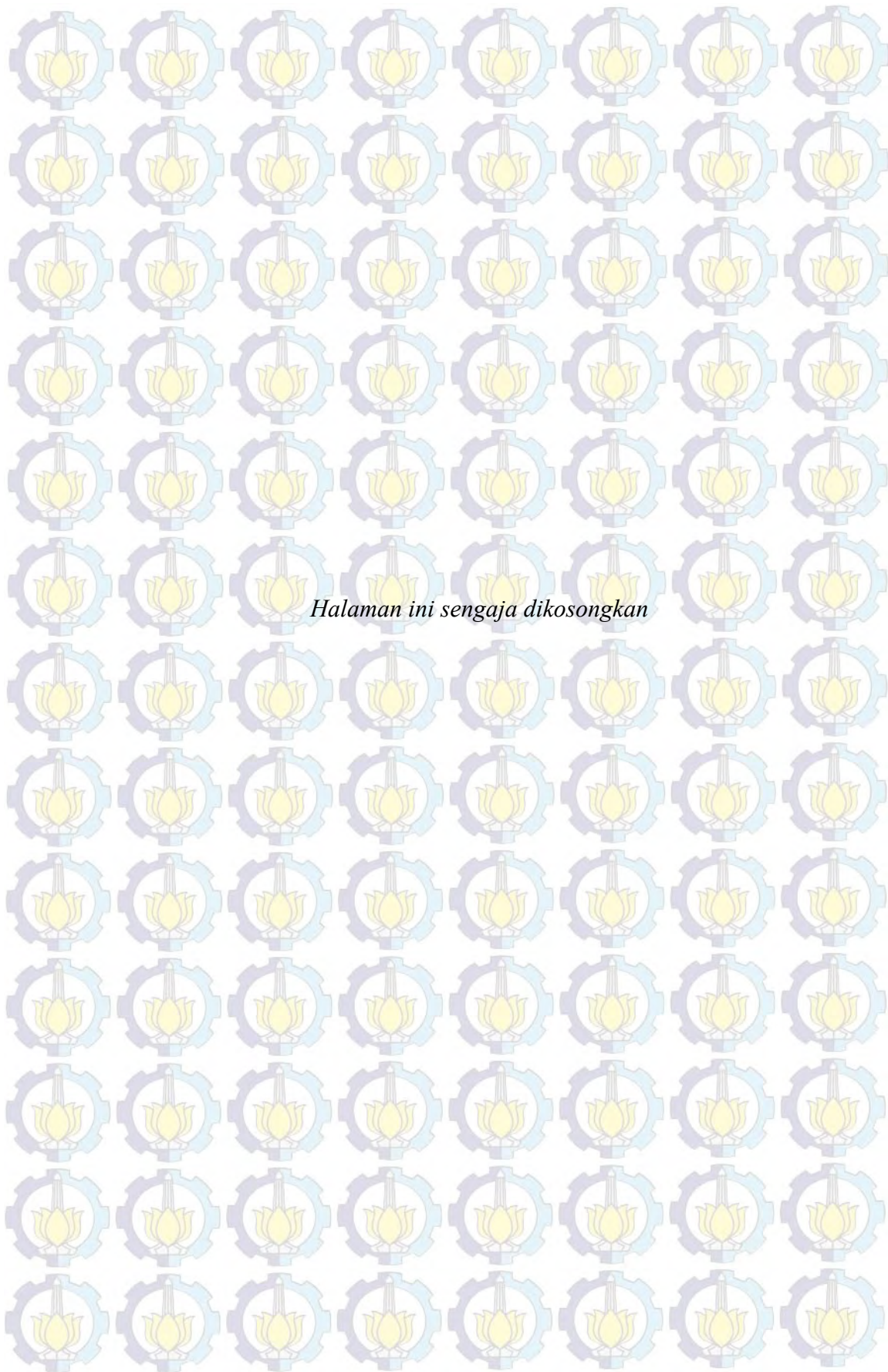
2.10.2. Kuat Tarik Beton

Kuat tarik beton lebih rendah daripada kuat tekan. Oleh karena itu, saat terjadi penarikan, beton rawan mengalami keretakan dan akhirnya mengalami kehancuran.

Rumus kuat tarik beton adalah :

$$\text{Kuat tarik beton} = 0.5 \cdot \sqrt{f_c'} \quad (2.28)$$

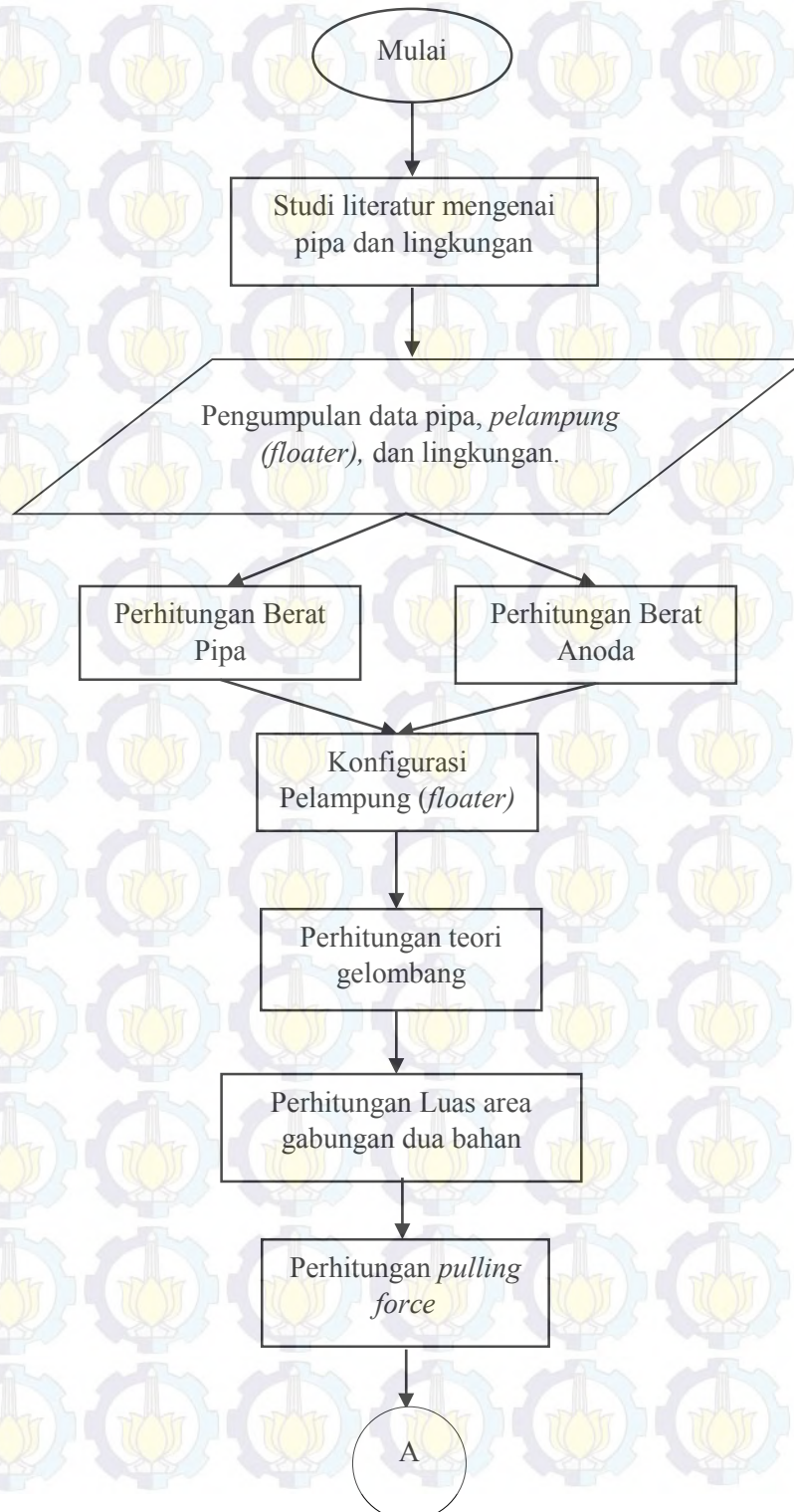
Rumus tegangan tarik beton tersebut dalam satuan Mpa.

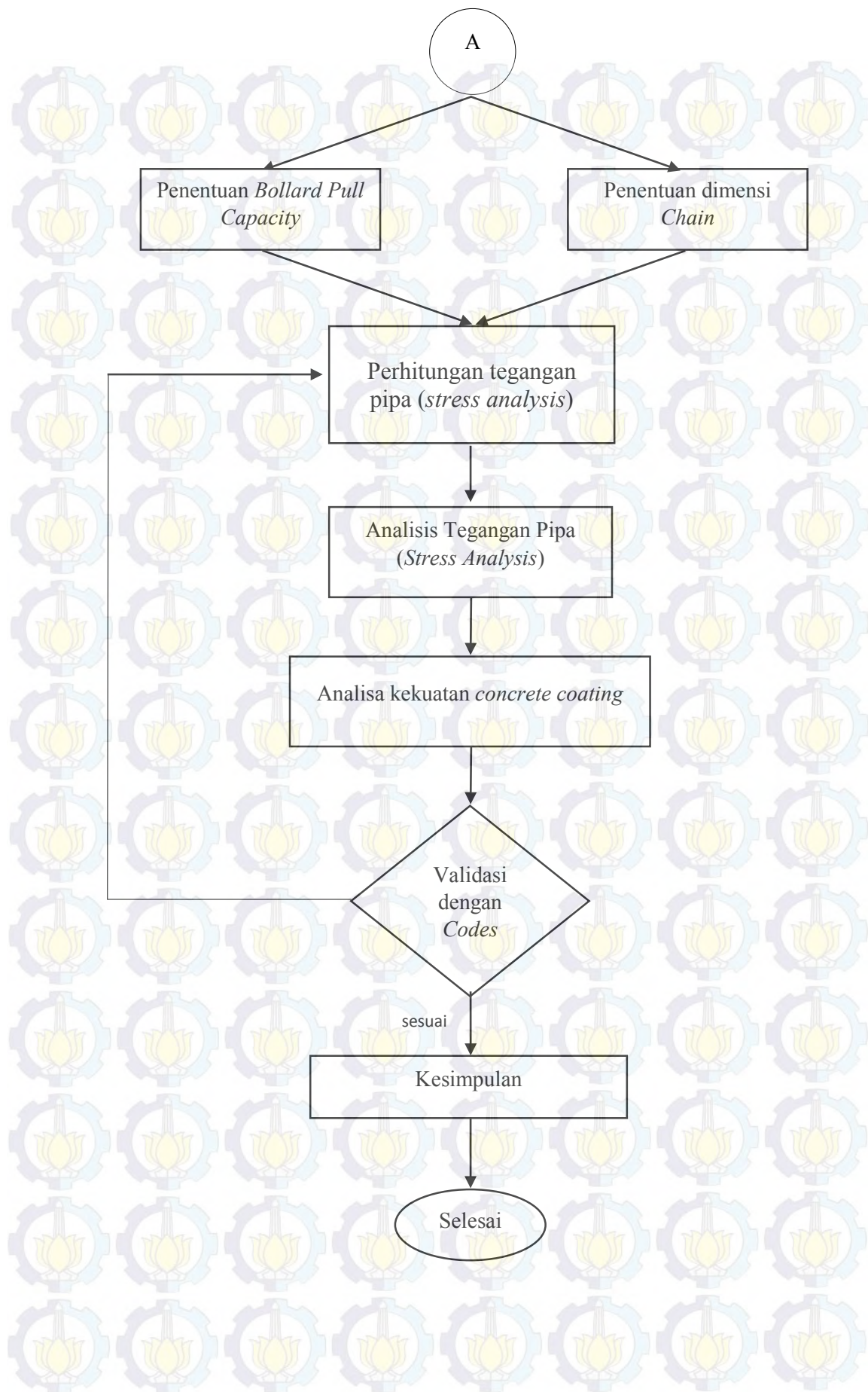


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

Penjelasan mengenai tugas akhir dapat dilihat pada gambar berikut ini:





3.2. Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini diperlukan tahap-tahap yang berurutan berdasarkan urutan kerja sehingga tujuan yang diharapkan dapat tercapai dengan baik. Tahapan-tahapan tersebut yaitu :

1. Studi Literatur

Melakukan studi literatur buku-buku, jurnal atau referensi-referensi yang berkaitan sebagai bahan penunjang penelitian ini.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data pipa, pelampung, serta data lingkungan dimana struktur tersebut beroperasi.

3. Perhitungan Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Pipa

Perhitungan berat pipa, berat anode, dan konfigurasi data pelampung untuk mendapatkan *Pulling Force*. Selain itu juga dihitung gaya-gaya lainnya seperti gaya hidrodinamis yang mengenai pipa dan pelampung, serta *Bollard pull capacity* dan dimensi *chain* yang dibutuhkan untuk proses *towing* ini.

4. Perhitungan Tegangan Pipa

Perhitungan tegangan pipa ini menggunakan perhitungan manual mekanika teknik balok sederhana dengan tumpuan *pin* dan *roll*. Gaya yang digunakan sebagai perhitungan adalah gaya hidrodinamis dan gaya tarik (*pulling force*).

5. Analisis Tegangan Pipa

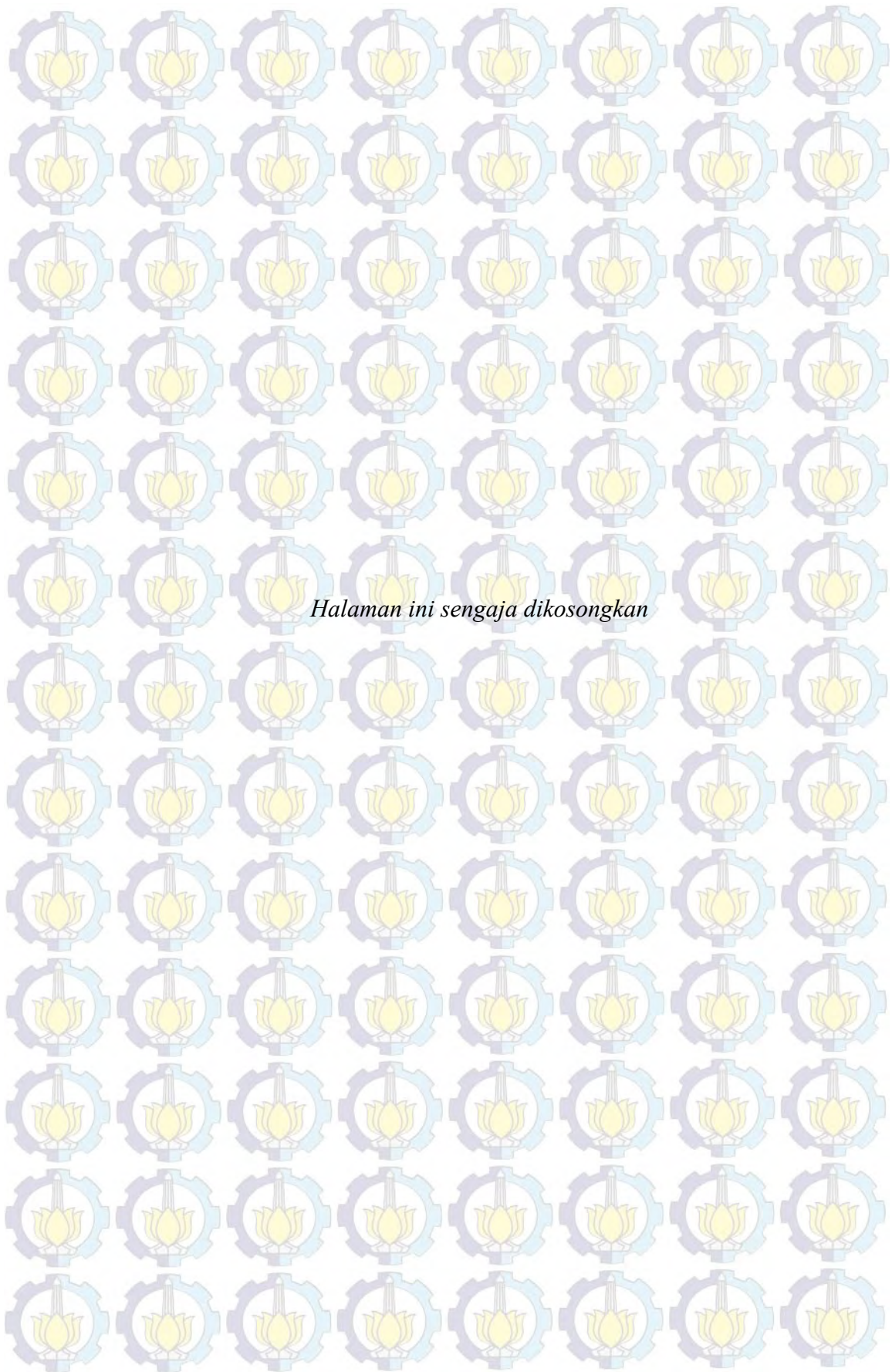
Analisa hasil dan pembahasan penelitian sebelumnya atau *check code* terhadap tegangan maksimum yang terjadi pada pipa.

6. Analisis Kekuatan *Concrete Coating*

Melakukan perhitungan kekuatan lapisan beton (*concrete coating*) yang melapisi pipa terhadap gaya dan tegangan yang dialami oleh pipa.

7. Validasi dengan *Codes*

Mengecek perhitungan dengan *codes* yang sudah ada.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini berupa data material pipa, data lingkungan dan data *floaters* yang digunakan sebagai gaya apung tambahan. Pipa digunakan memiliki diameter 4" dan menyalurkan *fuel gas*. Pemasangan pipa menggunakan metode *surface tow* yaitu dengan ditarik dari darat menuju laut dan pipa dalam keadaan terapung di permukaan dan setelah sampai di lokasi, pipa di *laying* ke dasar laut.

4.1.1. Data Pipa dan Materialnya

Data ini meliputi diameter dan ketebalan pipa, panjang pipa, korosi yang diijinkan, modulus elastisitas, angka poisson, dan material pipa. Berikut data pipa dan propertisnya yang dibutuhkan dalam analisis ini, disajikan dalam bentuk tabel :

Tabel 4.1. Data Pipa dan Material

Description	Units	Value
Pipe Service	-	Gas
Pipe Nominal Diameter	inch	4
Pipe Outside Diameter (OD)	mm	114.3
Wall Thickness (ts)	mm	42.51
Pipe Material	-	Carbon Steel
Pipe Material Grade	-	API 5L Gr. B
Pipe Schedule	-	80
Corrosion Allowance	mm	3.175
SMYS	MPa	241
SMTS	MPa	448
Coefficient of thermal expansion	1/oC	1.17×10^{-5}
Poisson's Ratio	-	0.3
Modulus Young	MPa	207000
Density of steel	Kg/m ³	7850
Pipe Joint Length	M	12

Selain data pipa dan materialnya, juga dibutuhkan data propertis pipa seperti anoda, *wrap*, *coating* dan lapisan beton. Data propertis pipa ditampilkan sebagai berikut :

Tabel 4.2. Data Propertis Pipa

Description	Units	Value
Anode Type	-	Bracelet Aluminium-zinc
Current Capacity	Ah/kg	2400
Efficiency (Utilization Factor)	-	0.8
Consumption	Kg/Anode· year	3.25
Design Current Density	mA/m ²	55
Seawater Resistance	Ohm·cm	19
Lifetime Protection Required	Years	10
Mass of Wrap	Kg	3
Length per Wrap	m	0.1
Coating Corrosion Type	-	DFBE
Coating Corrosion Thickness	mm	0.7
Density of Coating Corrosion	Kg/m ³	950
Concrete Thickness	mm	40
Density of Concrete	Kg/m ³	3040
Modulus Young of coating	Mpa	3826.591
Modulus Young of concrete	Mpa	22000

4.1.2. Data Floater

Untuk mengapungkan pipa di permukaan diperlukan pelampung tambahan. Di dalam tugas akhir ini pelampung diasumsikan menggunakan tipe polyurethane foam (PF) fender. Data pelampung sebagai berikut :

Tabel 4.3. Data Pelampung (*Floater*)

Type	Description	Units	Value
Polyurethane Foam	Diameter	mm	300
	Height	mm	1000
	Thickness	mm	5
	Density	kg/m ³	33

4.1.3. Data Lingkungan

Data lingkungan yang diperlukan berupa data gelombang, arus, kedalaman, massa jenis air laut, kemiringan muka pantai dan viskositas kinematik dari perairan tempat instalasi dilakukan. Data yang ada sebagai berikut :

Tabel 4.4. Data Lingkungan

Description	Units	Value
Wave Significant	m	0.52
Wave Period	s	5.32
Water depth	m	20
Density of Sea Water	Kg/m ³	1025
Current Velocity Maximum	m/s	1.76
Slope of beach	-	0.01
Kinematic viscosity of seawater	m ² /s	1.06 x 10 ⁻⁶

4.2. Pembebanan Pipa

DNV OS F101 *Submarine Pipeline System* (2000) menyatakan bahwa pembebanan pada pipa terbagi menjadi 2, yaitu beban fungsional dan beban lingkungan. Beban fungsional adalah beban fisik pipa itu sendiri. Sedangkan, beban lingkungan adalah beban yang diakibatkan oleh lingkungan di sekitar pipa.

Dalam analisis tegangan pada pipa saat *towing* perlu dihitung pembebanan yang dialami oleh pipa ini, karena berpengaruh terhadap proses *towing*. Berikut ini hasil perhitungan beban-beban yang dialami oleh pipa ditampilkan dalam tabel 4.5. :

Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Pembebanan Pada Pipa

Parameter	Unit	Value
Gaya Berat Pipa	N/m	804.192
Berat Pipa Tercelup	N/m	501.885
Gaya Apung Pipa	N/m	302.304
Kecepatan Gelombang Efektif	m/s	0.141
Kecepatan Arus Efektif	m/s	0.928
Gaya Drag Pipa	N/m	87.541
Gaya Inersia Pipa	N/m	49.110
Gaya Lift Pipa	N/m	79.149

Dari tabel hasil perhitungan pembebanan piap diatas, dapat diketahui bahwa gaya berat pipa sebesar 804.192 N/m. Selain itu, berat pipa tercelup dan gaya apung yang dimiliki pipa masing-masing sebesar 501.885 N/m dan 302.304 N/m.

Sementara itu dari perhitungan teori gelombang di grafik *region of validity* (Mouselli, 1981), didapat teori gelombang yang digunakan adalah teori gelombang Stoke Ordo 2. Dari teori gelombang Stoke Ordo 2 didapat kecepatan gelombang efektif dan kecepatan arus efektif yang mengenai pipa sebesar masing-masing 0.141 m/s dan 0.928 m/s. Dari hasil tersebut, dapat dihitung pula gaya drag (*drag force*), gaya inersia (*inertia force*) dan gaya angkat (*lift force*) yaitu sebesar 87.541 N/m untuk *drag force*, 49.110 N/m untuk *inertia force* dan untuk *lift force* sebesar 79.149 N/m.

Sehingga dari *drag force* dan *inertia force* dapat dihitung gaya hidrodinamis yang mengenai pipa, dengan menggunakan rumus Morison sebagai berikut :

$$\begin{aligned} F &= F_d + F_i \\ &= 87.541 + 79.110 \\ &= 136.652 \text{ N/m} \end{aligned}$$

Maka, gaya hidrodinamis yang mengenai pipa sebesar 136.652 N/m.

4.3. Kebutuhan Pelampung (*Floater*)

Dalam proses *towing* pada instalasi pipa dengan metode *surface tow*, pipa berada di permukaan laut. Oleh karena itu, selain dari gaya apung pipa sendiri dibutuhkan pelampung (*floater*) tambahan untuk mengapungkan pipa. Dalam tugas akhir ini, digunakan tipe pelampung yaitu *polyurethane foam*. Berikut hasil perhitungan kebutuhan dan konfigurasi pelampung :

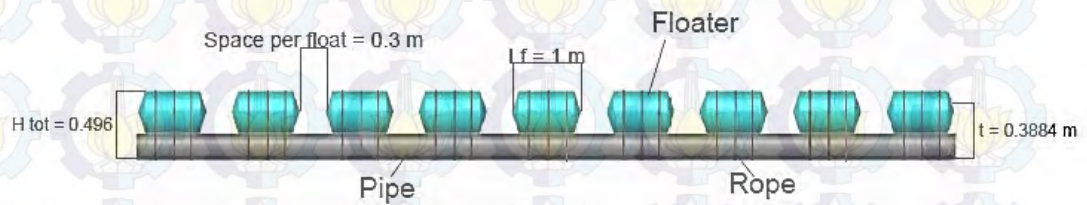
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Konfigurasi *Floater*

Type	Parameter	Unit	Value
Polyeruthane Foam	Gaya apung per pelampung.	N/m	710.403
	Berat total pipa dan pelampung	N/m	875.899
	Pelampung yang dibutuhkan total	Pcs	2872
	Jumlah pelampung per joint	Pcs	9
	Jarak per pelampung	m	0.3
	<i>Displacement</i> Pipa dan Pelampung	m ³	0.087
	Sarat Air	m	0.388
	Gaya Drag <i>Floater</i>	N/m	107.406
	Gaya Inersia <i>Floater</i>	N/m	45.342
	Gaya Lift <i>Floater</i>	N/m	101.379

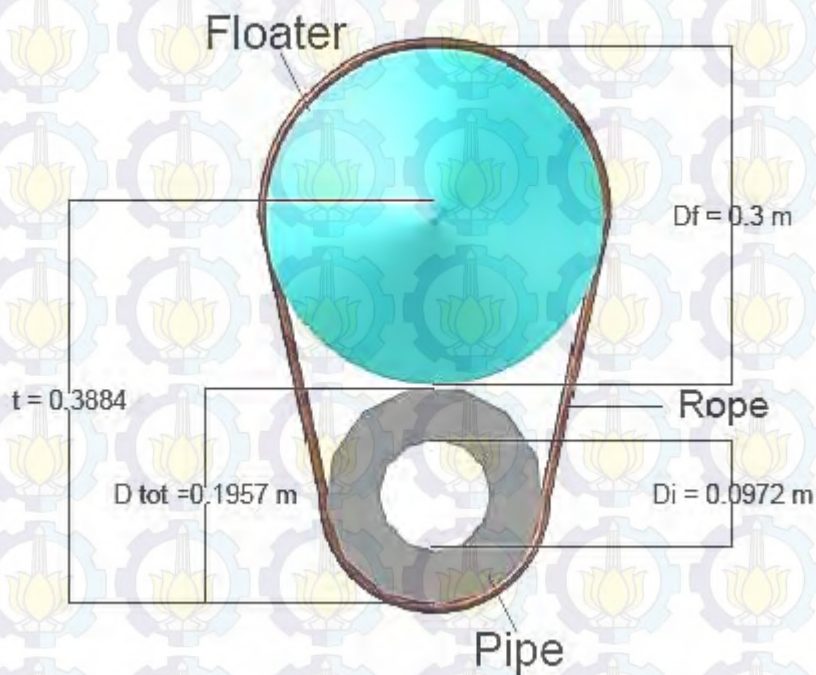
Dari hasil perhitungan diatas, satu pelampung Polyurethane Foam mempunyai gaya apung sebesar 710.403 N/m membutuhkan sebanyak 2872 buah untuk mengapungkan pipa sepanjang 3800 meter ini dan per *joint* pipa membutuhkan 9 buah pelampung. Tiap pelampung dipasang dengan jarak 0.3 m eter dengan pelampung yang lain. Pelampung akan tenggelam sebagian dengan sarat air sebesar 0.388 meter.

4.3.1. Konfigurasi Pelampung (*Floater*)

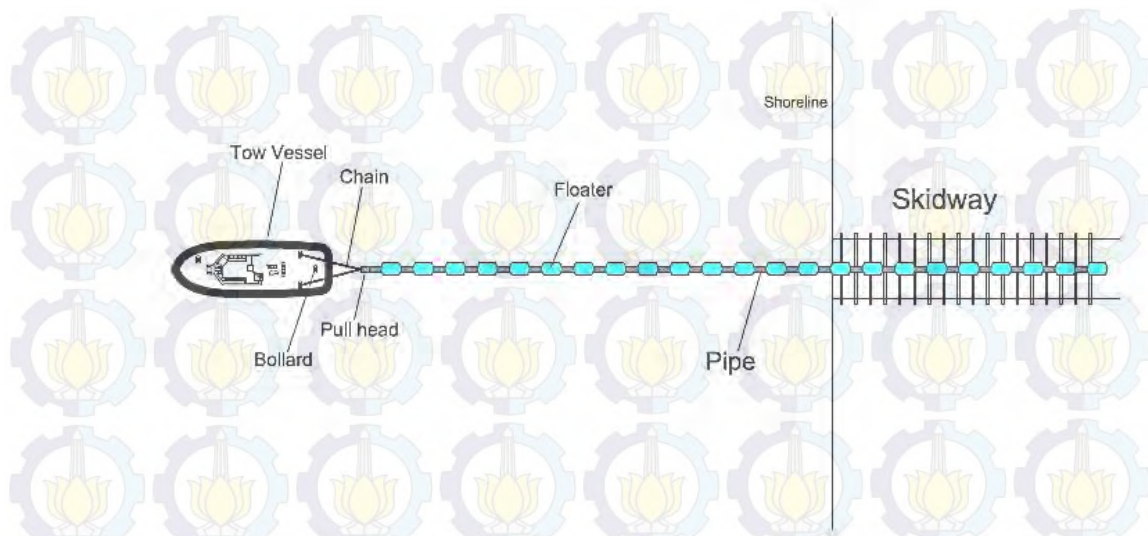
Konfigurasi pelampung ini terdiri dari ukuran pelampung, tata letak pelampung, jarak antar pelampung dan sarat pelampung dan pipa. Konfigurasi pelampung dapat ditunjukkan pada beberapa gambar berikut :



Gambar 4.1. Konfigurasi pelampung tampak samping



Gambar 4.2. Konfigurasi pelampung tampak dari depan



Gambar 4.3. Proses *Towing* tampak atas

Pada konfigurasi yang ditunjukkan ketiga gambar diatas, pelampung sengaja diletakkan diatas pipa karena untuk mengurangi gaya gesek pelampung terhadap *skidway* yang menyebabkan pertambahan gaya tarik.

Selain itu, peletakan pelampung diatas pipa membutuhkan pengikatan. Dalam konfigurasi ini, pengikatan diasumsikan menggunakan tali tampar. Keuntungan menggunakan tali tampar antara lain mudah didapat dan tidak terlalu berat sehingga dapat menambah beban struktur pipa.

4.4. Gaya Tarik (*Pulling Force*)

Perhitungan gaya tarik atau *pulling force* berdasarkan gaya yang bekerja pada pipa, kemiringan muka pantai, koefisien gesekan dan juga kecepatan tarikan. Kondisi penarikan dilakukan melalui dua tahap. Yang pertama pipa sepanjang 1900 m ditarik menuju laut sampai ujung 50 meter tersisa di *skidway*. Kemudian pada tahap kedua, ujung pipa tersebut disambung las dengan 1900 m yang kedua.

Hasil perhitungan gaya tarik disajikan dalam bentuk tabel berikut :

Tabel 4.7. Hasil Perhitungan *Pulling force*

Parameter	Unit	Value
Gaya tarik awal (F_s)	N	949462.795
Gaya gesek maksimal akibat <i>skidway</i> (F_{res})	N	444910.285
Gaya drag pipa di permukaan laut (F_{dp})	N	26.019
Gaya drag pelampung maksimal di permukaan laut. (F_f)	N	1049.052
Gaya Tarik Kinetis Total Maksimal ($F_{pull\ max}$)	N	456352.836

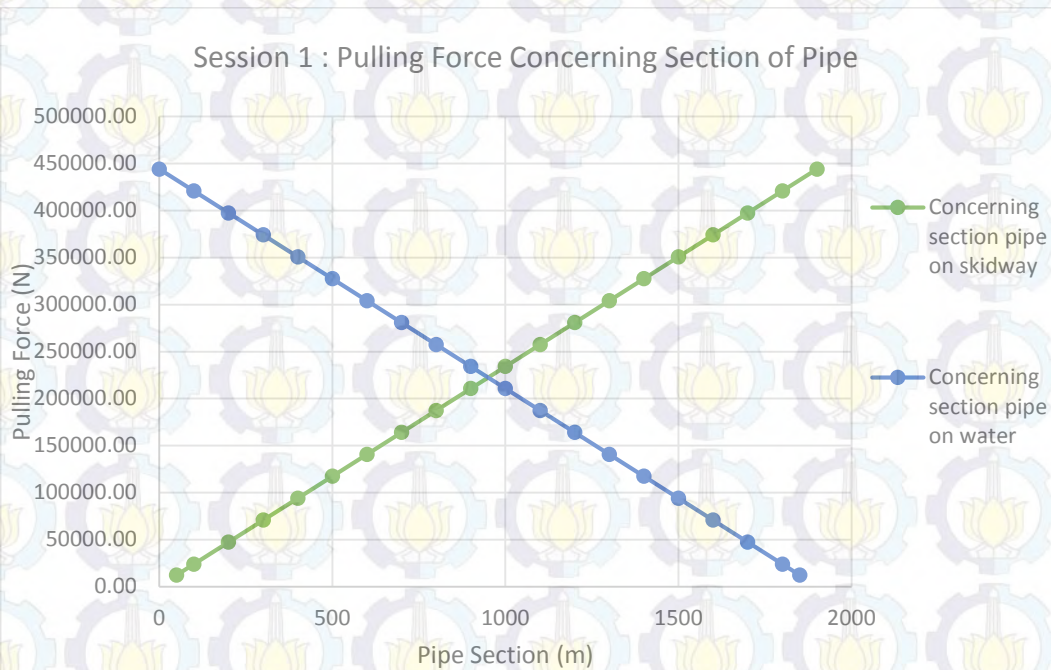
Dari tabel 4.7. gaya tarik awal (F_s) yang diperlukan untuk menggerakkan pipa dalam keadaan diam yaitu sebesar. 949462.795 N atau jika dikonversi menjadi ton force maka menjadi 96.818 ton. Sedangkan pada saat pipa mulai bergerak, terjadi gesekan kinetis antara pipa dengan *skidway*. Besar gaya gesek antara pipa dengan *skidway* yang terbesar adalah 444910.285 N atau 46. 45.424 ton. Ketika pipa mulai menyentuh permukaan air laut, gaya gesek yang bekerja adalah gaya drag pipa terhadap air laut. Besar dari gaya drag pipa (F_{dp}) yaitu 26.019 N. Selain pipa, yang mengalami gaya drag terhadap permukaan air laut adalah pelampung. Besar gaya drag pelampung (F_f) tergantung pada jumlah jumlah pelampung yang dipasang. Untuk kondisi maksimal gaya drag pelampung yaitu sebesar 1049.053 N.

Dari kondisi gaya gesek pipa terhadap *skidway*, gaya drag pipa terhadap permukaan air laut, dan gaya drag pelampung terhadap permukaan laut dapat dihitung gaya tarik yang dibutuhkan untuk menarik pipa dari darat ke laut. Gaya tarik maksimal ($F_{pull\ max}$) yang dibutuhkan untuk menarik pipa adalah sebesar 445985.365 N atau 45.478 tonf.

4.4.1. Hubungan Panjang Pipa di *Skidway* dan di Permukaan Air Terhadap Gaya Tarik yang dibutuhkan pada Tahap 1

Tahap pertama adalah merupakan tahap awal ketika 1900 meter pipa *section* pertama terletak diatas *skidway* untuk kemudian ditarik menuju laut sampai menyisakan 50 meter panjang pipa diatas *skidway* untuk disambung dengan 1900 meter *section* kedua.

Gaya tarik yang dibutuhkan oleh setiap panjang kondisi pipa di *skidway* dan yang terletak diatas permukaan air laut berbeda-beda. Pada tahap pertama ini besar tarikan pada setiap *section* pipa diatas *skidway* dan di permukaan air dihitung setiap 100 meter. Gaya tarik pada tahap 1 ditampilkan pada grafik berikut :



Gambar 4.4. Grafik gaya tarik pipa pada tahap pertama

Pada gambar 4.4 menunjukkan grafik gaya tarik pipa berdasarkan *section* pipa di *askidway* dan diatas air. Dari grafik diatas, titik dan garis yang berwarna hijau menunjukkan grafik gaya tarik pipa yang disebabkan panjang *section* pipa diatas *skidway*. Sedangkan yang berwarna biru merupakan panjang *section* pipa diatas permukaan air.

Dari grafik gaya tarik tahap pertama, pada pipa yang terletak diatas *skidway*, grafik mengalami kenaikan. Dari hal ini dapat dikatakan bahwa semakin panjang *section* pipa yang berada diatas *skidway*, semakin besar pula gaya tarik yang dibutuhkan dan semakin pendek panjang *section* pipa yang terletak diatas *skidway* maka, semakin kecil gaya tarik yang dibutuhkan untuk menarik pipa ke permukaan laut.

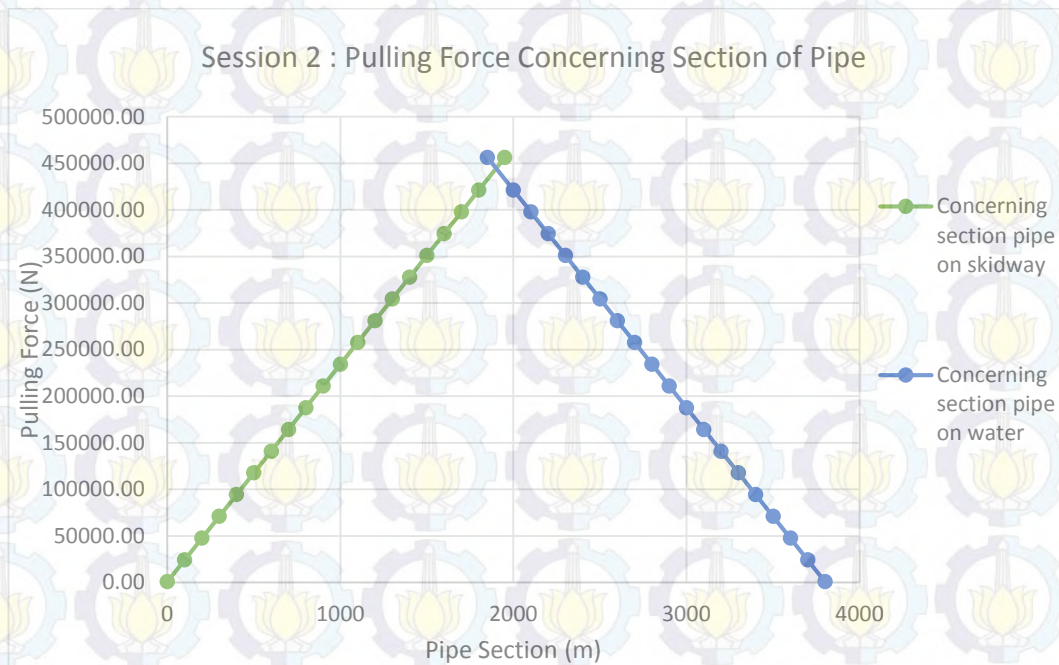
Berbeda dengan grafik gaya tarik pipa yang terletak diatas permukaan air. Pada grafik kondisi pipa yang terletak diatas permukaan air, grafik mengalami penurunan. Hal ini dapat dikatakan bahwa semakin panjang pipa yang berada diatas permukaan air, maka semakin kecil gaya tarik yang dibutuhkan. Sedangkan, semakin pendek *section* pipa diatas laut, maka semakin besar gaya tarik yang dibutuhkan.

Hubungan dari kedua grafik tersebut adalah gaya tarik *section* pipa yang masih berada diatas *skidway* dan diatas permukaan air saling mempengaruhi. Semakin panjang pipa diatas *skidway* dan semakin pendek panjang pipa diatas permukaan air maka semakin besar gaya tarik yang dibutuhkan, karena gaya gesek terhadap *skidway* semakin besar. Kondisi berbeda ketika panjang pipa diatas *skidway* pendek dan yang terletak di atas permukaan laut panjang, maka gaya tarik yang dibutuhkan semakin kecil, karena gaya gesek pipa terhadap *skidway* kecil sehingga membutuhkan gaya tarik yang kecil pula.

4.4.2. Hubungan Panjang Pipa di *Skidway* dan di Permukaan Air Terhadap Gaya Tarik yang Dibutuhkan pada Tahap 2

Tahap kedua dalam perhitungan gaya tarik ini adalah tahap dimana kondisi sebagian *section* pipa berada di permukaan laut. Panjang *section* pipa yang sudah di permukaan laut sepanjang 1850 meter. Kemudian 50 meter pipa yang masih diatas *skidway* disambung dengan pipa sepanjang 1900 meter yang kedua. Penyambungan dilakukan dengan cara pengelasan. Maka *section* pipa yang diatas *skidway* sepanjang 1950 meter.

Gaya tarik yang dibutuhkan pada tahap kedua ini digambarkan dalam bentuk grafik berikut ini :



Gambar 4.5. Grafik gaya tarik pipa pada tahap kedua

Pada gambar 4.5. menunjukkan grafik gaya tarik pada tahap kedua. Grafik yang berwarna hijau menunjukkan besar gaya tarik terhadap panjang pipa diatas *skidway*. Sedangkan grafik yang berwarna biru besar gaya tarik terhadap panjang pipa di permukaan air.

Tidak berbeda jauh dengan pola gaya tarik pada tahap pertama, gaya tarik pada tahap kedua ini juga menunjukkan kenaikan gaya tarik pada pipa yang mempunyai *section* di *skidway* lebih panjang. Sementara untuk gaya tarik pipa yang berada di permukaan air akan menjadi lebih kecil jika panjang *section* pipa yang berada di permukaan air semakin panjang. Hal ini juga disebabkan oleh gaya gesek pada *skidway*, yang sangat berpengaruh menentukan besar gaya tarik.

Pada tahap kedua ini terjadi gaya tarik maksimal. Gaya tarik maksimal terjadi ketika panjang *section* pipa diatas *skidway* pada posisi panjang 1950 meter dan panjang

section pipa di permukaan laut 1850 meter. Gaya kedua bagian *section* tersebut mencapai 456302.01 N.

4.5. Kapasitas *Bollard Pull*

Perhitungan kapasitas *bollard pull* dihitung dengan rumus sesuai dengan *DNV Rules for Planning and Execution of Marine Operations, 1996, Part 2 CH 2* yaitu:

$$\text{Actual Bollard Pull for Tug} = \frac{\text{Resistance force max}}{\text{Tug Efficiency}}$$

Dimana :

- *Resistance force max* dianggap sebagai *pulling force max*
- Besar *Tug Efficiency* adalah 75 %

Maka,

Actual Bollard Pull for Tug

$$\begin{aligned} &= \frac{456352.836 \text{ N}}{0.75} \\ &= 620435.76 \text{ N} \\ &= 62.04 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Jadi, *bollard pull* minimal yang dibutuhkan adalah 62.04 Ton.

Setelah mengetahui kapasitas *bollard pull* yang dibutuhkan, kemudian tinggal mencari kapal tug yang mempunyai kapasitas minimal 62.04 ton atau lebih. Salah satu kapal yang mempunyai kapasitas *bollard pull* yang mendekati adalah kapal milik A/S EM. Z. SVITZER yang dirancang oleh Offshore Ship Designers - The Netherlands dan diklasifikasi oleh Bureau Veritas (BV) dengan kapasitas *bollard pull* 65 ton. Berikut ini adalah ukuran utama kapal tug tersebut :

Tabel 4.8. Ukuran utama Tug boat

(Sumber : <http://www.navnautik.com/index.php/portfolio/msv/65t-bollard-pull-multi-purpose-offshore-terminal-tug>)

Parameter	Unit	Value
Lenght Overall	M	45.62
Breadth Moulded	M	13.20
Depth Main Deck	M	6
Design Draft	M	4.80
Speed	Knots	13
Gross Tonage	Tonnes	810
Bollard Pull	Tonnes	65

4.6. Penentuan Dimensi Rantai (*Chain*)

Dari perhitungan *pulling force* maksimal, juga dapat dihitung kebutuhan rantai yang diperlukan untuk melakukan kegiatan *towing*. Perhitungan dilakukan sesuai dengan rumus berikut :

$$\text{Chain Requirement} = \text{Pulling force} \cdot \text{Safety factor}$$

Safety factor yang digunakan sebesar 1.20 sesuai dengan standar *International Association of Classification Societies (IACS) Requirements concerning: Mooring, Anchoring And Towing*.

Maka,

$$\text{Chain Requirement}$$

$$= 456352.836 \text{ N} \cdot 1.25$$

$$= 570441.045 \text{ N}$$

$$= 58.116 \text{ Ton}$$

Jadi rekomendasi kapasitas *chain* yang digunakan adalah 2 buah *chain* jenis *alloy chain* grade 80 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 4.9. Spesifikasi *chain*

Nominal Chain Size	Material Diameter	Working Load Limit (max)	Proof Test (min)	Minimum Breaking Force	Inside Lenght (max)	Inside Width Range
mm	mm	ton	kN	kN	mm	mm
32	32	32.8	64	1288	102.4	40 - 48

Spesifikasi *chain* diatas adalah standar dari *National Association of Chain Manufacturers (NACM) Welded Steel Chain Spesification*.

Selain dimensi *chain* yang akan digunakan, perhitungan panjang *chain* juga dilakukan. Perhitungan panjang *chain* menggunakan perhitungan standar *Korean Standar : Rules for The Towing Survey of Barges and Tugboat*, 2010, dengan rumus berikut :

$$\text{Length of Towline} = K \cdot \text{Length of Tugboat}$$

K merupakan nilai koefisien dari lokasi operasi. Jika di area pantai bernilai 2.0 dan jika di area jauh dari pantai bernilai 3.0.

Maka,

$$\text{Lenght of towline}$$

$$= 45.62 \cdot 2$$

$$= 91.24 \text{ m}$$

Jadi minimal panjang *chain* yang digunakan saat *towing* adalah 91.24 meter.

4.7. Perubahan Dimensi Pipa Akibat Transformasi Dua Bahan

Pipa yang akan diinstal terdiri lebih dari satu bahan. Pipa bermaterial *steel*, kemudian dilapisi dengan *corrossion coating* dan terakhir adalah lapisan *concrete coating*. Perhitungan dilakukan untuk memberikan asumsi kesamaan bahan pada saat analisa struktur. Berikut ini hasil perhitungan transformasi pipa disajikan dalam bentuk tabel :

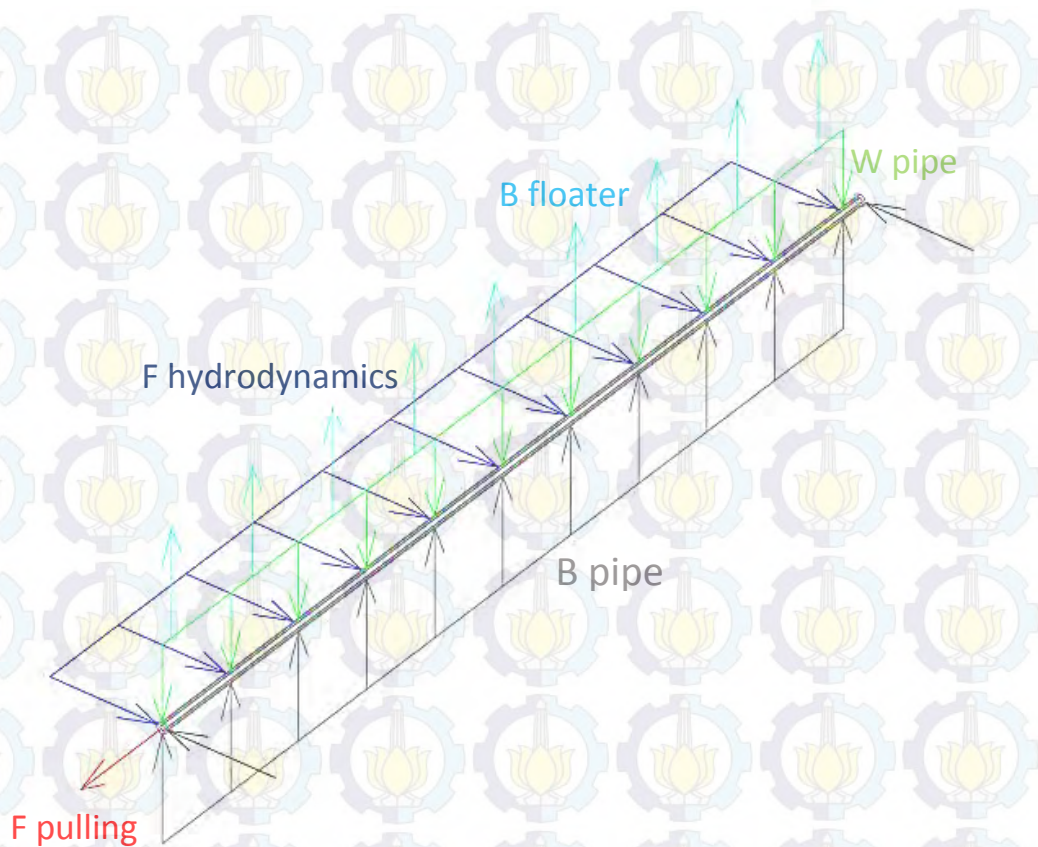
Tabel 4.10. Hasil perhitungan transformasi bahan

Parameter	Unit	Value
Tebal coating transformasi (t'_{coat})	Mm	0.0499
Tebal concrete transformasi (t'_{conc})	Mm	4.25
Tebal pipa keseluruhan (D'_{tot})	Mm	123
Luas area tranformasi (A')	mm ²	4443.09
Inersia tranformasi (I'_{st})	m ⁴	6.818×10^{-6}

Dari tabel diatas diketahui bahwa tebal coating berubah setelah ditransformasi menjadi 0.0499 m m. Selain itu, tebal *concrete coating* juga berubah setelah transformasi menjadi 4.25 mm. Setelah tebal lapisan transformasi dapat dihasilkan, maka tebal keseluruhan pipa setelah transformasi menjadi 123 mm, luas area pipa setelah transformasi menjadi 4443.09 mm², dan inersia pipa setelah transformasi sebesar 6.818×10^{-6} .

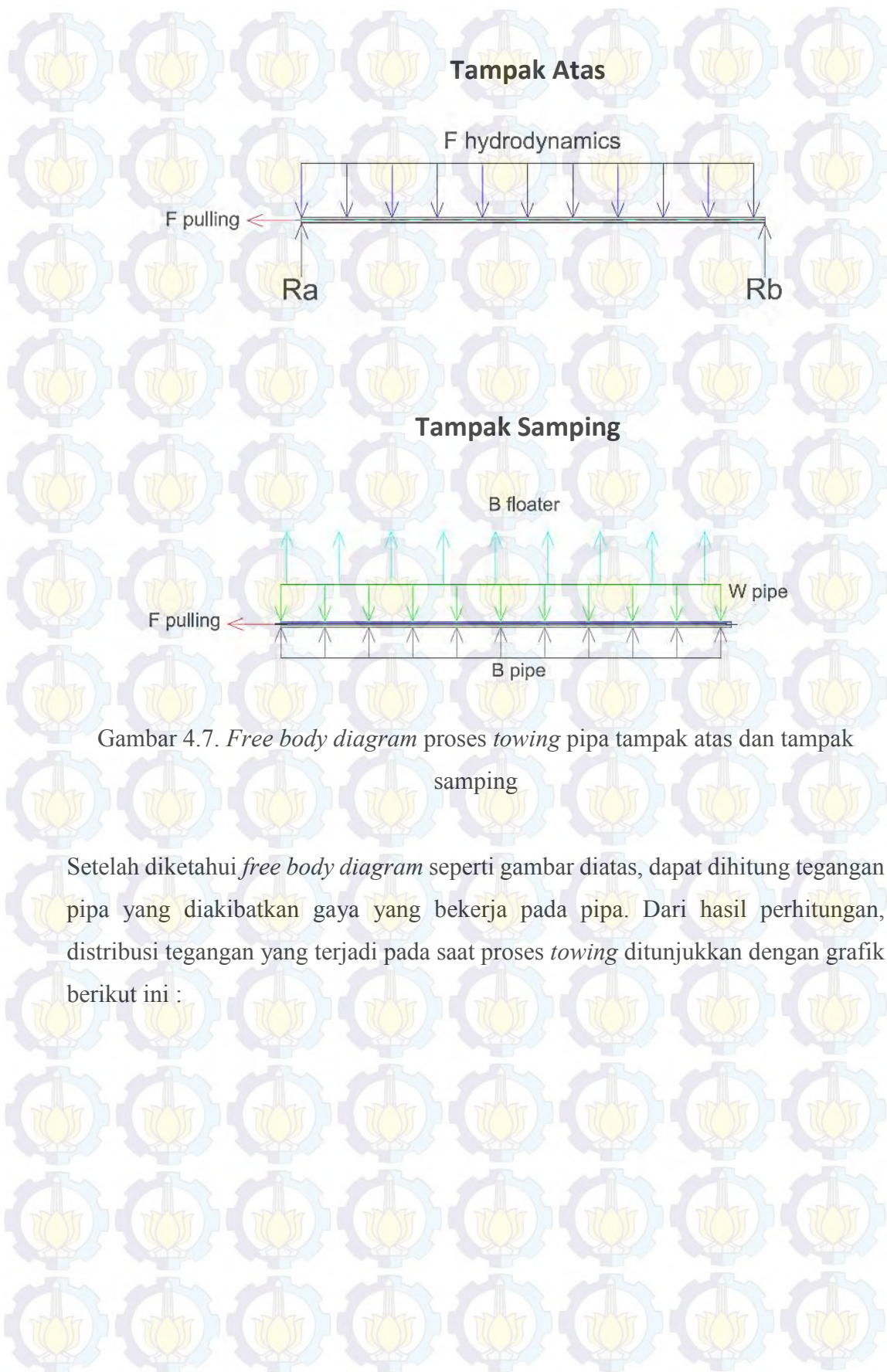
4.8. Tegangan Pipa

Perhitungan Tegangan pipa berdasarkan *free body diagram* proses towing pipa sebagai berikut :



Gambar 4.6. *Free body diagram* isometrik proses *towing* pipa

Untuk lebih jelasnya, ditunjukkan *free body diagram* tampak atas dan tampak samping pada gambar berikut :



Gambar 4.7. *Free body diagram* proses *towing* pipa tampak atas dan tampak samping

Setelah diketahui *free body diagram* seperti gambar diatas, dapat dihitung tegangan pipa yang diakibatkan gaya yang bekerja pada pipa. Dari hasil perhitungan, distribusi tegangan yang terjadi pada saat proses *towing* ditunjukkan dengan grafik berikut ini :



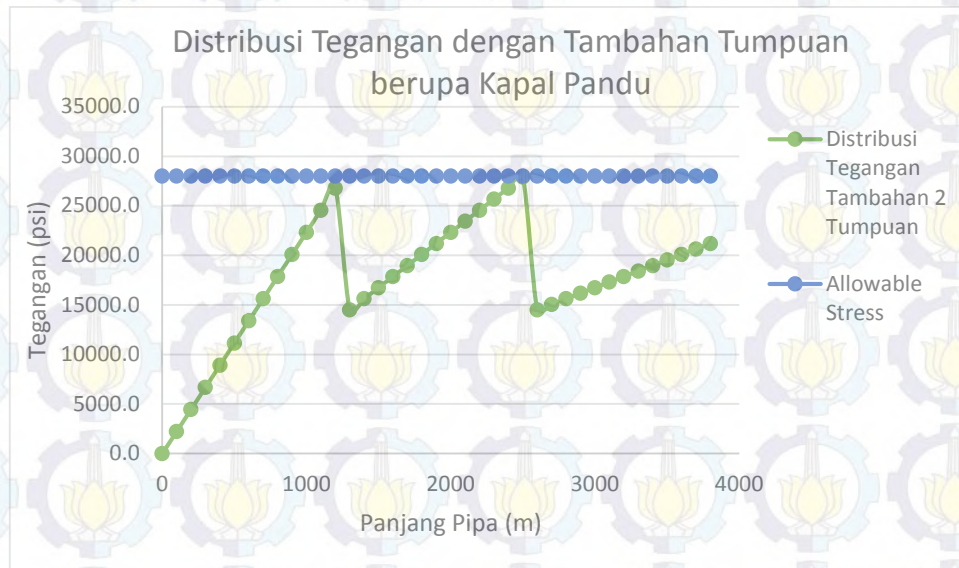
Gambar 4.8. Grafik distribusi tegangan saat proses *towing*

Pada grafik tegangan diatas, grafik yang berwarna hijau merupakan grafik yang menunjukkan besar tegangan berdasarkan panjang pipa. Sedangkan grafik yang biru merupakan *allowable stress* yang sesuai dengan ASME B.31.8. Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, tegangan semakin besar apabila panjang pipa semakin panjang. Ini ditunjukkan dengan kurva yang naik.

Tetapi ada suatu hal yang perlu diperhatikan saat analisis tegangan. Salah satunya adalah *allowable stress*. Pada grafik diatas, ketika panjang pipa mencapai 1200 meter, pipa mengalami tegangan yang diijinkan maksimal. Sementara itu ketika panjang pipa mencapai 1300 meter sampai ujung pipa terakhir yaitu 3800 meter, tegangan pipa sudah tidak memenuhi *allowable stress*. Ini disebabkan, terlalu panjangnya bentang bebas pipa tanpa adanya tumpuan, sehingga pipa mengalami momen yang besar seiring bertambahnya panjang pipa.

Oleh karena itu, perlu adanya tambahan tumpuan untuk menahan pipa mengalami momen yang besar sehingga berakibat menimbulkan tegangan yang besar. Salah satunya dalam kondisi instalasi *towing* ini, tumpuan berupa sebuah kapal pandu yang menjaga posisi pipa agar tidak terjadi *overstress* pada pipa.

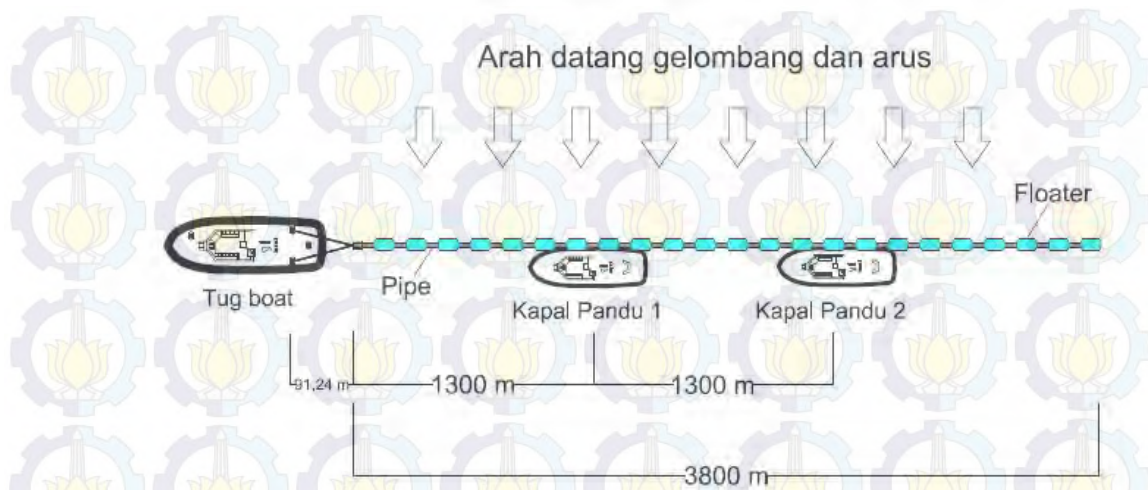
Dalam kasus ini tumpuan berupa kapal pandu diberikan pada tiap 1300 meter panjang pipa. Sehingga diperlukan 2 kapal pandu sebagai tumpuan tambahan untuk mengurangi tegangan yang terjadi pada pipa. Setelah diberikan tumpuan tambahan, maka grafik distribusi tegangan menjadi berikut ini :



Gambar 4.9. Grafik distribusi tegangan saat proses *towing* dengan tumpuan tambahan

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, tidak terjadi *overstress*. Semua tegangan berada dibawah *allowable stress*. Ini merupakan efek dari tambahan tumpuan berupa kapal pandu pada tiap 1300 meter panjang pipa untuk mengurangi besarnya tegangan yang terjadi pada pipa. Tegangan maksimal terjadi pada titik 2500 meter yaitu tegangan mencapai 28000 psi.

Dari analisis diatas, penambahan kapal pandu sebagai tambahan tumpuan sangatlah penting. Hal ini bertujuan untuk mengurangi tegangan yang terjadi pada pipa saat *towing* pada proses instalasi pipa dengan metode *surface tow* ini. Sehingga dapat digambarkan konfigurasi kapal pandu berdasarkan distribusi tegangan yang terjadi pada pipa. Konfigurasi kapal pandu tersebut ditunjukkan pada gambar berikut ini :



Gambar 4.10. Konfigurasi kapal pandu

Dari gambar diatas, kapal pandu diletakkan pada tiap 1300 meter dari pipa. Kapal pandu pertama diletakkan pada panjang ke 1300 meter pipa dan kapal pandu yang kedua diletakkan pada panjang ke 2600 meter pipa.

Kapal pandu diletakkan sisi pipa yang tidak terkena langsung oleh gelombang dan arus yang datang karena pada sisi tersebut merupakan terjadinya momen dan lendutan. Jika momen yang terjadi semakin besar maka tegangan akan menjadi besar pula. Oleh karena itu, kapal pandu tersebut mengurangi momen dan lendutan yang terjadi sehingga tidak terjadi tegangan yang berlebihan atau *overstress*.

4.9. Kekuatan Lapisan Concrete

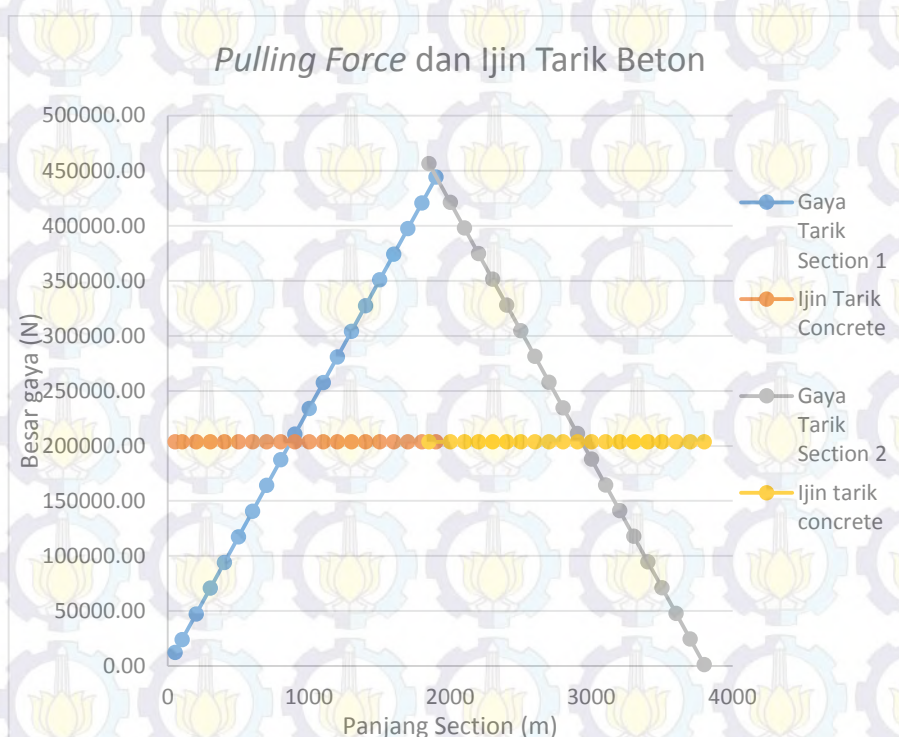
Perhitungan kekuatan lapisan beton untuk mengetahui seberapa besar kemampuan beton dalam menerima gaya aksial maupun lateral. Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel berikut ini :

Tabel 4.11. Hasil perhitungan kekuatan beton

Parameter	Unit	Value
Kuat tekan <i>concrete</i> (f_c')	Mpa	84.028
Tegangan tekan kritis (F_{cr})	Mpa	123.259
Kuat Nominal <i>concrete</i> (N_n)	N	350119.99
Tegangan ijin tarik <i>Concrete</i>	Mpa	4.583
Besar ijin tarikan ($F_{pull \text{ ijin}}$)	N	203641.72

Dari hasil perhitungan diatas, pada *concrete* coating dengan tebal 40 mm didapat kuat tekan *concrete* sebesar 123.25 Mpa. Besar tegangan tekan kritis Kuat nominal *concrete* sebesar 350119.99 N. Selain itu didapat Tegangan ijin tarik dari *concrete* sebesar 4.583 Mpa dan Besar ijin tarikan ($F_{pull \text{ ijin}}$) sebesar 203641.72 N.

Dari kekuatan beton tersebut, terdapat hubungan antara kekuatan beton terhadap gaya tarik yang diijinkan. Hubungan tersebut ditampilkan dalam tabel berikut :



Gambar 4.11. Grafik *pulling force* dan ijin tarik beton

Salah satu sifat beton adalah lemah dalam gaya tarik. Oleh karena itu, beton mempunyai ijin tarik. Dalam hal ini, beton tidak bisa ditarik dengan gaya yang terlalu besar dari ijinnya. Jika terjadi tarikan yang melebihi tegangan ijinnya, lapisan beton tersebut akan retak bahkan hancur.

Dalam grafik diatas ditunjukkan bahwa *pulling force* yang dibutuhkan untuk menarik pipa dibandingkan dengan tegangan ijin lapisan beton. Pada grafik menunjukkan sebagian besar *pulling force* yang dibutuhkan untuk menarik pipa dari darat menuju ke laut telah melebihi ijin tarik lapisan *concrete*. Hal ini harus diperhitungkan, karena jika tetap memaksakan menggunakan gaya tarik sebesar itu tanpa meperhatikan efek pada *concrete coating*, maka peluang terjadinya kegagalan dalam instalasi ini semakin besar.

Salah satu hal yang dapat menanggulangi besarnya gaya tarik adalah mengurangi besar gaya tarik dan menambah besar gaya dorong/tekan. Dengan begitu proses instalasi dapat berjalan dengan aman.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Melalui proses analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Gaya-gaya yang bekerja pada pipa saat *towing* pada instalasi dengan metode *surface tow* ini adalah gaya dari dalam pipa seperti gaya berat pipa sebesar 804.192 N/m, berat pipa tercelup sebesar 501.885 N/m, gaya apung pipa 302.304 N/m. Selain gaya dari dalam pipa itu sendiri, pipa juga terkena gaya dari luar seperti gaya hidrodinamika sebesar 136.652 N/m, gaya apung tambahan akibat adanya *floaters* sebesar 710.403 N/m dan gaya tarik atau *pulling force* yang paling maksimal sebesar 949462.795 N.
2. Pelampung (*floaters*) dibutuhkan untuk menambah gaya apung pada pipa agar pipa berada di permukaan laut. Pelampung yang digunakan adalah tipe *polyurethane foam* dengan diameter 0.3 meter dan panjang 1 meter. Setiap joint pipa membutuhkan 9 buah pelampung, dengan jarak antar pelampung sebesar 0.3 meter dan mempunyai sarat air 0.388 meter. Sehingga total keseluruhan pelampung yang dibutuhkan sebanyak 2872 buah pelampung. Pelampung diletakkan di bagian atas pipa untuk mengurangi gaya gesek tambahan antara pelampung dengan *skidway*.
3. Tegangan pada pipa saat proses *towing* sangat dipengaruhi oleh gaya hidrodinamika, gaya tarik dan panjang pipa. Semakin panjang bentangan pipa semakin besar tegangan yang diakibatkan oleh gaya hidrodinamika dan gaya tarik. Jika pada bentangan pipa yang terlalu panjang, akan menimbulkan tegangan yang berlebih atau *overstress*. Salah satu cara mengatasi masalah tersebut adalah dengan cara menambah tumpuan berupa kapal pandu di bagian yang terjadi *overstress*. Total kapal pandu yang dibutuhkan pada proses instalasi ini sebanyak 2 buah kapal. Besar tegangan maksimal yang terjadi setelah ditambahkan dua kapal pandu yaitu 28000 psi.

5.2. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Untuk penelitian lebih lanjut, sangat diperlukan analisis mengenai pengaruh gerakan dinamis tug boat terhadap pipa dan analisa proses *laying* pipa pada proses *towing* pada instalasi metode *surface tow* pada proses *towing* pipa ini.
2. Perlu adanya analisis dari segi ekonomi untuk kegiatan instalasi pipa dengan metode *surface towing* ini.
3. Menambahkan bentuk pemodelan menggunakan *software*. Untuk menganalisa tegangan bisa dilakukan dengan ANSYS APDL, ORCAFLEX, dan OFFPIPE. Dengan output yang diharapkan adalah perilaku pipa dalam proses *towing*.

Perhitungan Gaya

Pipe Calculation

Diameter Internal	$D_i = D - 2t$	$D_i = 97.2 \text{ mm} = 0.0972 \text{ m}$
Diameter Corrosion Coating	$D_{corr} = D + 2t_{corr}$	$D_{corr} = 115.7 \text{ mm} = 0.1157 \text{ m}$
Diameter Concrete Coating	$D_{conc} = D + 2t_{conc}$	$D_{conc} = 194.3 \text{ mm} = 0.1943 \text{ m}$
Diameter Total	$D_{tot} = D + 2t_{corr} + 2t_{conc}$	$D_{tot} = 195.7 \text{ mm} = 0.1957 \text{ m}$
Berat pipa (tanpa coating)	$W_{st} = \frac{\pi (D^2 - D_i^2) \rho_{st}}{4}$	$W_{st} = 22.286701 \text{ kg/m}$
Berat Corrosion Coating	$W_{corr} = \frac{\pi (D_{corr}^2 - D^2) \rho_{corr}}{4}$	$W_{corr} = 0.2401315 \text{ kg/m}$
Berat Concrete Coating	$W_{conc} = \frac{\pi (D_{conc}^2 - D_{corr}^2) \rho_{conc}}{4}$	$W_{conc} = 59.449997 \text{ kg/m}$
Berat Total	$w_t = (w_1 + w_2 + w_3) g$	$w_t = 804.1927 \text{ N/m}$
Bouyancy	$F_{bp} = \frac{\pi D_{conc}^2 \rho_{sw} g}{4}$	$F_{bp} = 302.3042 \text{ N/m}$
Berat pipa tercelup	$w_{sub} = w_t - F_{buoy}$	$w_{sub} = 501.8885 \text{ N/m}$
Momen Inersia Pipa	$I_{st} = \frac{\pi (D^4 - D_i^4)}{64}$	$I_{st} = 3.995E-06 \text{ m}^4$
Momen Inersia Concrete	$I_{conc} = \frac{\pi (D_{conc}^4 - D_{corr}^4)}{64}$	$I_{conc} = 6.113E-05 \text{ m}^4$
Modulus young concrete	$E_{conc} = 22000 \text{ Mpa}$	

Wave Calculation

Untuk mengetahui berat minimal pipa per meter yang diisyaratkan stabilitasnya harus dilakukan beberapa tahap sebagai berikut :

1. Mengecek teori gelombang

Data parameter penentuan teori gelombang yang digunakan,

$$\begin{aligned} H/gT^2 &= 0.001872885 \\ d/gT^2 &= 0.072034032 \end{aligned}$$

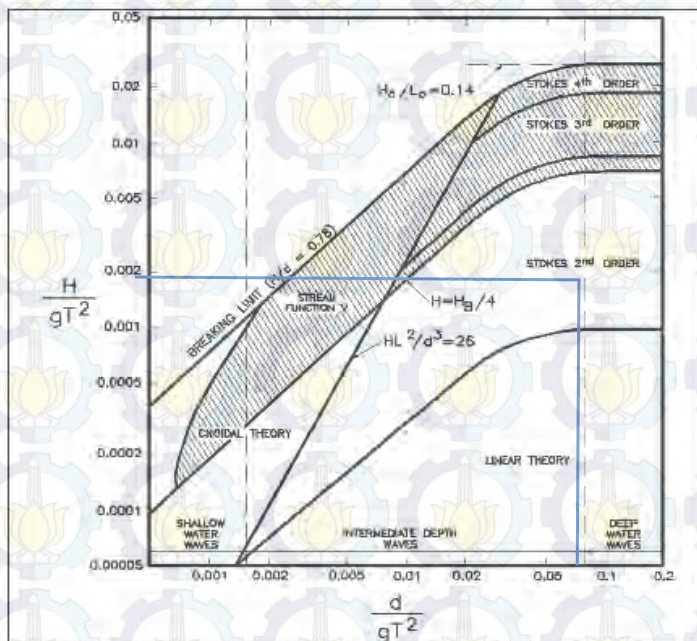


Figure 11-20. Ranges of suitability of various wave theories (Le Méhauté 1976)

Garis pertemuan antara H/gT^2 dan d/gT^2 terdapat di daerah Stokes orde 2.

Jadi persamaan yang digunakan untuk menghitung kecepatan partikel gelombang menggunakan persamaan Stokes orde 2.

2. Menghitung Kecepatan Partikel Gelombang

Kecepatan horisontal (U)

$$\frac{\pi H}{T} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2ks}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta$$

Percepatan horisontal (u/t)

Perhitungan Gaya

$$\frac{2\pi^2 H}{T} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \sin \theta + \frac{3\pi^2 H}{T^2} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh 2ks}{\sinh^4 kd} \sin 2\theta$$

Maka didapatkan nilai kecepatan dan percepatan partikel gelombang,

$$\begin{aligned} U_o &= -1 \text{ m/s} \\ u/t &= 1.9 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Kecepatan partikel air efektif

$$\begin{aligned} U_{w2} &= 0,788 U^2 \left(\frac{D}{Y_n} \right)^{0,286} \\ U_w &= 0.455 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Current Calculation

kecepatan arus (U_c) 90°

$$\begin{aligned} U_d &= U_{rs} \left[\frac{\left(1 + \frac{z_o}{D} \right) \cdot \left(\ln \left(\frac{D}{z_o} + 1 \right) - 1 \right)}{\ln \left(\frac{z_r}{z_o} + 1 \right)} \cdot \sin(\theta_{curr}) \right] \\ U_d &= 1.164 \end{aligned}$$

Kecepatan arus efektif

$$\begin{aligned} U_{c2} &= 0,788 U^2 \left(\frac{D}{Y_n} \right)^{0,286} \\ U_c &= 0.53 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Jadi kecepatan partikel air dan arus efektif yang terjadi pada pipa bawah laut adalah sebagai berikut ini,

$$\begin{aligned} U_w &= 0.455 \text{ m/s} \\ U_c &= 0.53 \text{ m/s} \\ U &= 0.970 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Reynolds Number

$$\begin{aligned} Re &= \frac{(U_e) D}{V} \\ Re &= 180831.46 \\ &= 1.8 \times 10^5 \end{aligned}$$

Tabel 2.4 Recommended Hydrdynamics Coefficient (Mousselli,1981)

Reynolds number (Re)	Hydrodynamic Coefficient		
	C_d	C_i	C_m
$Re < 5.0 \times 10^4$	1.3	1.5	2.0
$5.0 \times 10^4 < Re < 1.0 \times 10^5$	1.6	1.8	2.0
$1.0 \times 10^5 < Re < 2.5 \times 10^5$	$1.53 - \frac{Re}{3 \times 10^5}$	$1.2 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$	2.0
$2.5 \times 10^5 < Re < 5.0 \times 10^5$	0.7	0.7	$2.5 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$
$Re > 5.0 \times 10^5$	0.7	0.7	1.5

$$\begin{aligned} C_d &= 0.927 \\ C_i &= 0.838 \\ C_m &= 2 \end{aligned}$$

Gaya Hidrodinamika

Gaya Drag

$$F_d = C_D \times \frac{1}{2} \times \rho_{water} \times D_{tot} \times U^2 \quad F_d = 87.541982 \text{ N/m}$$

Gaya Inersia

$$F_i = C_i \times \frac{\pi D_{conc}^2}{4} \times \rho_{water} \times du/dt \quad F_i = 49.110 \text{ N/m}$$

Gaya Lift

$$F_L = C_M \times \frac{1}{2} \times \rho_{water} \times D_{tot} \times U^2 \quad F_L = 79.149521 \text{ N/m}$$

Gaya Hidrodinamika Total

$$F = F_d + F_i \quad F = 136.652 \text{ N/m}$$

Perhitungan Gaya

Wave Calculation (Floater)

Untuk mengetahui berat minimal pipa per meter yang diisyaratkan stabilitasnya harus dilakukan beberapa tahap sebagai berikut :

1. Mengecek teori gelombang

Data parameter penentuan teori gelombang yang digunakan,

$$\begin{aligned} H/gT^2 &= 0.001872885 \\ d/gT^2 &= 0.072034032 \end{aligned}$$

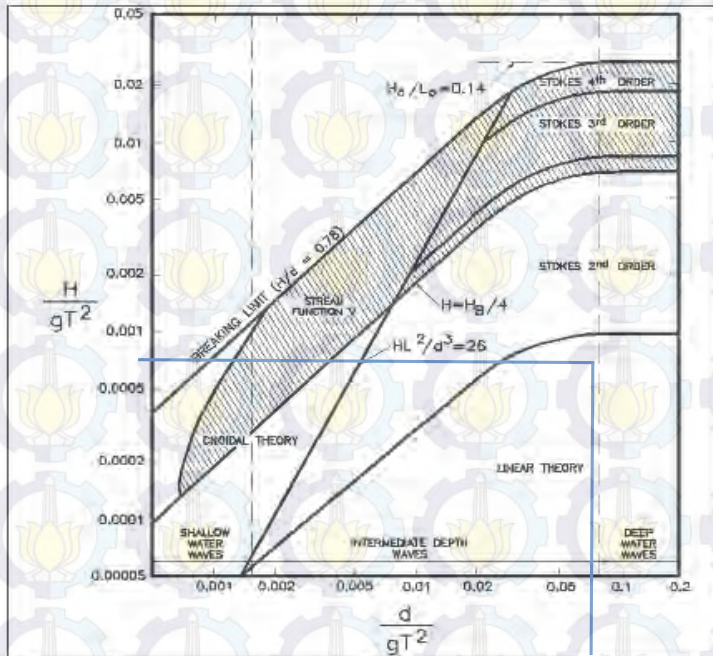


Figure 11-1-20. Ranges of suitability of various wave theories (Le Méhauté 1976)

Garis pertemuan antara H/gT^2 dan d/gT^2 terdapat di daerah Stokes orde 2.

Jadi persamaan yang digunakan untuk menghitung kecepatan partikel gelombang menggunakan persamaan Stokes orde 2.

2. Menghitung Kecepatan Partikel Gelombang

Kecepatan horizontal (U)

$$\frac{\pi H}{T} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2ks}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta$$

Percepatan horizontal (u/t)

$$\frac{2\pi^2 H}{T} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \sin \theta + \frac{3\pi^2 H}{T^2} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh 2ks}{\sinh^4 kd} \sin 2\theta$$

Maka didapatkan nilai kecepatan dan percepatan partikel gelombang,

$$\begin{aligned} U_o &= -1 \text{ m/s} \\ u/t &= 1.9 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Kecepatan partikel air efektif

$$\begin{aligned} U_{w2} &= 0.788 U^2 \left(\frac{D}{Y_0} \right)^{0.286} \\ U_w &= 0.484 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Current Calculation

kecepatan arus (U_c) 90°

$$U_d = U_r \cdot \left[\frac{(1 + \frac{z_o}{D}) \cdot (\ln(\frac{D}{z_o} + 1) - 1)}{\ln(\frac{z_r}{z_o} + 1)} \cdot \sin(\theta_{curr}) \right]$$

$$U_d = 1.209$$

Kecepatan arus efektif

$$\begin{aligned} U_{c2} &= 0.788 U^2 \left(\frac{D}{Y_0} \right)^{0.286} \\ U_c &= 0.585 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Perhitungan Gaya

Jadi kecepatan partikel air dan arus efektif yang terjadi pada pipa bawah laut adalah sebagai berikut ini,

$$\begin{aligned} U_w &= 0.484 \text{ m/s} \\ U_c &= 0.585 \text{ m/s} \\ U &= 1.143 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\text{Reynolds Number } Re = \frac{(U_e) D}{\nu} = \frac{212988.88}{2.12 \times 10^5}$$

Tabel 2.4 Recommended Hydridynamics Coefficient (Mousselli,1981)

Reynolds number (Re)	Hydrodynamic Coefficient		
	C_d	C_i	C_m
$Re < 5.0 \times 10^4$	1.3	1.5	2.0
$5.0 \times 10^4 < Re < 1.0 \times 10^5$	1.5	1.8	2.0
$1.0 \times 10^5 < Re < 2.5 \times 10^5$	$1.53 - \frac{Re}{3 \times 10^5}$	$1.2 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$	2.0
$2.5 \times 10^5 < Re < 5.0 \times 10^5$	0.7	0.7	$2.5 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$
$Re > 5.0 \times 10^5$	0.7	0.7	1.5

$$\begin{aligned} C_d &= 0.820 \\ C_i &= 0.774 \\ C_m &= 2 \end{aligned}$$

Gaya Hidrodinamika

$$\text{Gaya Drag } F_d = C_D \times \frac{1}{2} \times \rho_{\text{water}} \times D_{\text{tot}} \times U^2 = 107.40611 \text{ N/m}$$

$$\text{Gaya Inersia } F_i = C_i \times \frac{\pi D_{\text{conc}}^2}{4} \times \rho_{\text{water}} \times \frac{du}{dt} = 45.342 \text{ N/m}$$

$$\text{Gaya Lift } F_L = C_M \times \frac{1}{2} \times \rho_{\text{water}} \times D_{\text{tot}} \times U^2 = 101.37922 \text{ N/m}$$

$$\text{Gaya Hidrodinamika Total } F = F_d + F_i = 152.748 \text{ N/m}$$

Perhitungan Berat Anoda

DATA PIPE

Properties of Pipeline

Outside Diameter (OD) = 114.3 mm = 0.1143 m

Length = 3800 m

Properties of Anode

Anode Type = Bracelet Aluminium-zinc

Current Capacity = 2400 Ah/kg

Utilization Factor = 0.8

Design Current Density = 55 mA/m²

Seawater Resistance = 19 Ohm cm

Lifetime Protection Required = 10 years

1 Total metal surface that will be protected

$$A = \pi \cdot D_s \cdot L$$
$$= 1363.83 \text{ m}^2$$

2 Total protection current required

$$I = A \cdot i_c$$
$$= 75.0105 \text{ A}$$

3 Mass of anode required

$$M_a = \frac{I \times \text{Protection lifetime} \times 8760 \text{ hrs/year} \times 1.25}{\text{Current cap} \times \text{Utilization factor}}$$
$$= 4277.94 \text{ kg}$$

RECOMMENDED use anode = 1.12577 kg/m

= 13.5093 kg/joint

Perhitungan Kebutuhan *Floater*

Mass OF PIPE AND PIPE PROPERTIES

Mass of Pipe	=	311511.9531 kg	=	81.9768298 kg/m
Mass of Anode	=	4277.944 kg	=	1.1258 kg/m
Mass of Wrap	=	94.8 kg	=	3 kg/m

USING POLYURETHANE FOAM AS FLOATER

Specification of Manuplas Polyurethane Foam (PF) Boat Fender A40

Diameter of Polyurethane Foam (Df)	=	300 mm	=	0.3000 m
Height of Polyurethane Foam (Lf)	=	1000 mm	=	1.0000 m
Thickness of Polyurethane Foam (tf)	=	5 mm	=	0.0050 m
Density of Polyurethane Foam Med Firm(pf)	=	33 kg/m ³	(Medium Firm)	
Density of air (pa)	=	1.2 kg/m ³		
Mass of wire per PF Fender	=	3 kg	(Assumed)	

1 Volume of Polyurethane Foam

$$V_f = \frac{\pi \cdot D_f^2 \cdot L_f}{4}$$

$$= 0.0707 \text{ m}^3$$

2 Volume of Polyurethane Foam before air filled

$$V_{pf} = L_f \cdot D_f \cdot (2 \cdot t_f)$$

$$= 0.0030 \text{ m}^3$$

3 Mass of Polyurethane Foam

$$M_f = (\rho_{pf} \cdot V_{pf}) + (\rho_a \cdot V_f)$$

$$= 0.184 \text{ kg}$$

4 Mass of Polyurethane Foam on sea water

$$F_{bf} = \rho_{sw} \cdot V \cdot g$$

$$= 710.403 \text{ N}$$

5 Mass of pipe and properties total per metre

$$M_{tp} = M_p + M_a + M_w + M_d + M_{wire}$$

$$= 89.286 \text{ kg/m}$$

6 Weight of pipe and properties total per metre

$$W_{tp} = M_{tp} \cdot g$$

$$= 875.8994309 \text{ N/m}$$

7 Floating object required

$$F_{\text{btot}} > W_{\text{tp}}$$

	1012.708	>	875.90	OK
--	----------	---	--------	----

8 Total Number of Floats Polyurethane Foam Required

$$N_f = \frac{F_{\text{bp}}}{F_{\text{bf}}}$$

		=	1617.047	
		=	1618	pcs

Buoyancy Check Overall				
Buoyancy Force all PF	=	1149432.7	N	
Mass all PF	=	297.4	kg	
Mass of Wire all PF	=	4854	kg	
Fb	>	W total		
	2298188.681	>	3149363.7	Not OK

$$\text{Additional Floater Required} = \frac{W_{\text{total}} - F_b}{F_{\text{bf}}}$$

		=	1198.157246	
		=	1199	pcs

Total Floater	=	2817	pcs
---------------	---	------	-----

Buoyancy Check Overall				
Buoyancy Force all PF	=	2001206.4	N	
Mass all PF	=	517.7	kg	
Mass of Wire all PF	=	8451	kg	
Fb	>	W total		
	3149962.373	>	3186811.9	Not OK

$$\text{Additional Floater Required} = \frac{W_{\text{total}} - F_b}{F_{\text{bf}}}$$

		=	51.87127406	
		=	52	pcs

Total Floater	=	2869	pcs
---------------	---	------	-----

Buoyancy Check Overall				
Buoyancy Force all PF	=	2038147.4	N	
Mass all PF	=	527.3	kg	
Mass of Wire all PF	=	8607	kg	
Fb	>	W total		
	3186903.350	>	3188436.0	Not OK

Additional Floater Required

$$= \frac{W_{\text{total}} - F_b}{F_{bf}}$$

$$= \frac{2.157453754}{1} = 2.157453754$$
$$= 3 \text{ pcs}$$

Total Floater

$$= 2872 \text{ pcs}$$

Buoyancy Check Overall

Buoyancy Force all PF = 2040278.6 N

Mass all PF = 527.8 kg

Mass of Wire all PF = 8616 kg

Fb > W total

$$3189034.560 > 3188529.7$$

OK

Total PF Fender Used (N_{fp})

$$= 2872 \text{ pcs}$$

Number of float required per joint

$$N_{fpj} = \frac{N_f \cdot L_j}{L}$$
$$= \frac{9.1}{1} = 9.1$$
$$= 9 \text{ pcs}$$

Distance per float configuration

Total float per point = 1 pcs

Distance per float configuration (S_f) = 0.3 m per float

Draught (t) Calculation

Displacement (∇)

$$= \frac{M_p + M_f}{\rho_{sw}}$$

$$= \frac{0.087}{1} = 0.087 \text{ m}^3$$

Total height (H_{tot})

$$= D_{\text{tot}} + D_f$$
$$= 0.496 \text{ m}$$

Draught (t)

$$= \frac{\nabla}{A_p + A_f}$$
$$= \frac{0.087}{0.225} = 0.3884 \text{ m}$$

Perhitungan *Pulling Force*

Drag Coefficient (CD) Pipe	=	0.9272		
Drag Coefficient (CD) floater	=	0.8200		
μ_s skidway	=	0.62		
μ_k skidway	=	0.3		
Tug efficiency (η)	=	0.75	(DNV)	
W_p	=	805.9956 N/m		
Safety Factor (SF)	=	1.25	(IACS)	
Speed of Tug Boat (V)	=	500 m/h	=	0.1389 m/s
Slope of beach (θ)	=	0.01	=	0.5729 °

Session 1 : 1900 m pipe diatas skidway

Ketika Pipa Belum bergerak

$$F_s = L_{sp} \cdot W_p \cdot \mu_s \text{ skidway}$$

$$= 949462.7953 \text{ N} = 96.8186 \text{ tonf}$$

Gaya gesek karena skidway

$$f_s = w \sin \theta$$

$$= 15716.12806 \text{ N}$$

Ketika Pipa bergerak

$$F_{rk} = L_{sp} \cdot W_p \cdot \mu_k \text{ skidway}$$

$$= 471507.4153 \text{ N} = 48.0806 \text{ tonf}$$

$$F_{res} = F_{rk} - f_s$$

$$= 455791.2873 \text{ N} = 46.4779 \text{ tonf}$$

Gaya Tahanan karena Air

Luas permukaan muka pipa

$$A_p = \frac{\pi}{4} D_{tot}^2$$

$$= 0.0301 \text{ m}^2$$

Gaya tahanan pipa terhadap air

$$F_{dp} = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho_{sw} \cdot V^2 \cdot A_p$$

$$= 26.0194 \text{ N}$$

Luas permukaan muka pelampung (Polyurethane Foam)

$$A_f = \frac{\pi \cdot D_f \cdot d_{tf}}{8}$$

$$= 0.04540 \text{ m}^2$$

Gaya drag akibat pelampung (Polyurethane Foam)

$$F_f = \frac{C_d \cdot \rho_{sw} \cdot V^2 \cdot A_{pf} \cdot N_{pf}}{2}$$

$$= 524.52977 \text{ N}$$

$$F_{pull} = F_{res} + F_{dp} + F_f$$

$$= 456341.836 \text{ N} = 46.5341 \text{ tonf}$$

Session 2 :1900 pipa diatas air dan 1900 m pipe diatas skidway

$$F_f = \frac{C_d \cdot \rho_{sw} \cdot V^2 \cdot A_{pf} \cdot N_{pf}}{2}$$

$$= 510.72635 \text{ N}$$

$$F_{pull} = F_{res} + F_{dp} + F_f$$

$$= 456328.033 \text{ N} = 46.5327 \text{ tonf}$$

Total Pulling Force

$$F_{pull \text{ max}} = F_{dp} + F_{df} + F_{res}$$

$$F_{pull \text{ max}} = 456328.033 \text{ N} = 46.5327 \text{ tonf}$$

Bollard Pull Requirement

$$= \frac{F_{pull \text{ max}}}{\eta}$$

$$= 62.044 \text{ ton}$$

$$\approx 65 \text{ ton}$$

Chain Requirement

$$= F_{pull \text{ max}} \cdot SF$$

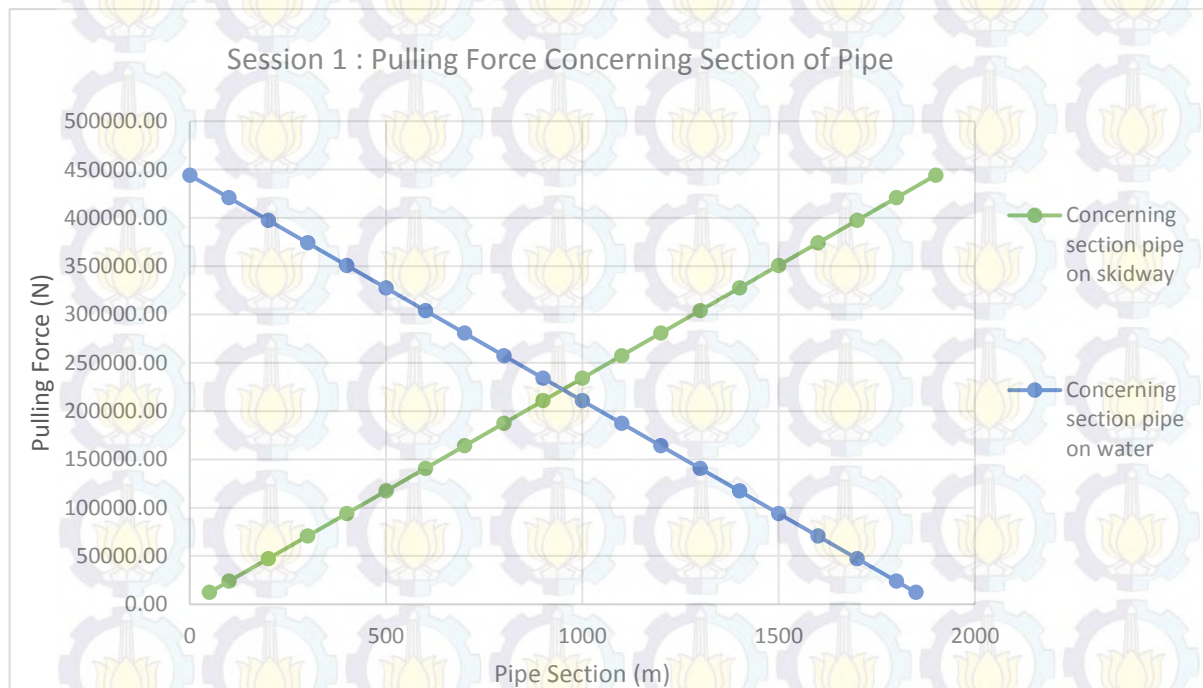
$$= 58.166 \text{ ton}$$

Rekomendasi chain yang digunakan adalah 2 buah chain alloy chain grade 80 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Nominal Chain Size	Material Diameter	Working Load Limit (max)	Proof Test (min)	Minimum Breaking Force	Inside Lenght (max)	Inside Width Range
mm	mm	ton	kN	kN	mm	mm
32	32	32.8	64	1288	102.4	40 - 48

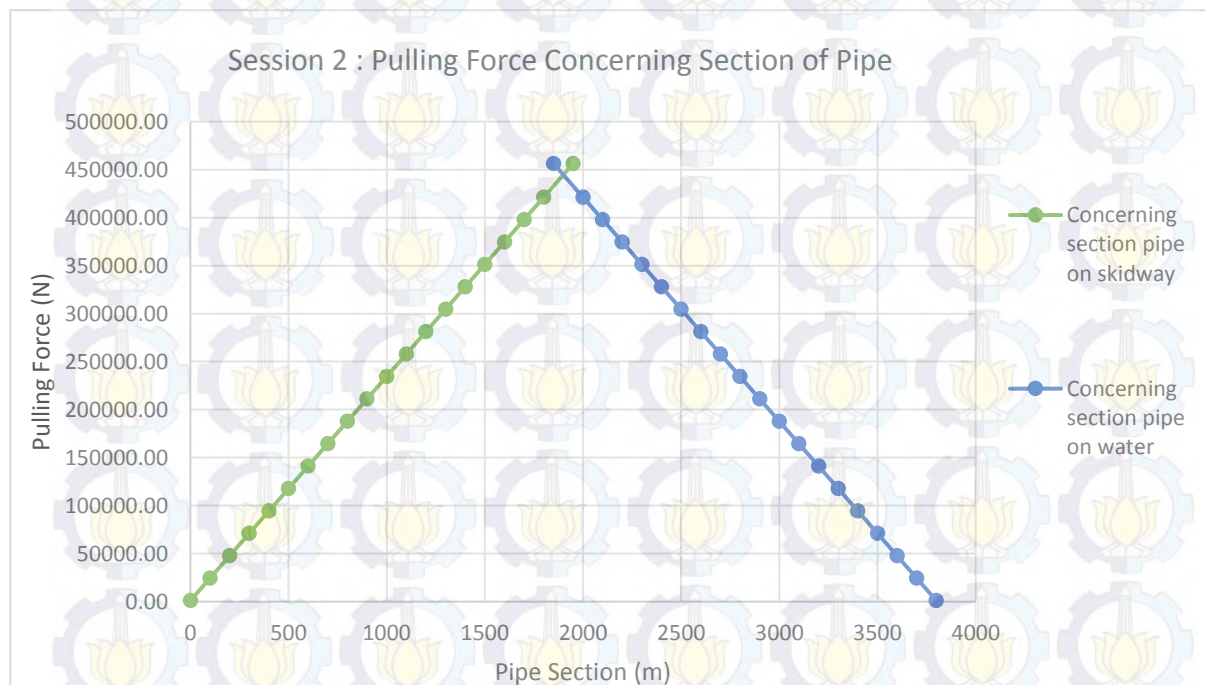
Session 1 : 1900 m pipe diatas skidway

Pipe Section		f_s	F_{rk}	F_{res}	F_{dp}	F_f	$F_{pull\ tot}$
On Skidway	On Water						
1900	0	15313.15	459417.48	444104.33	0	0.000	444104.33
1800	100	14507.195	435237.61	420730.42	26.0194	27.607	420784.05
1700	200	13701.24	411057.75	397356.51	26.0194	55.214	397437.74
1600	300	12895.285	386877.88	373982.59	26.0194	82.820	374091.43
1500	400	12089.329	362698.01	350608.68	26.0194	110.427	350745.13
1400	500	11283.374	338518.14	327234.77	26.0194	138.034	327398.82
1300	600	10477.419	314338.28	303860.86	26.0194	165.641	304052.52
1200	700	9671.4634	290158.41	280486.95	26.0194	193.248	280706.21
1100	800	8865.5081	265978.54	257113.03	26.0194	220.855	257359.91
1000	900	8059.5529	241798.67	233739.12	26.0194	248.461	234013.60
900	1000	7253.5976	217618.81	210365.21	26.0194	276.068	210667.30
800	1100	6447.6423	193438.94	186991.30	26.0194	303.675	187320.99
700	1200	5641.687	169259.07	163617.39	26.0194	331.282	163974.69
600	1300	4835.7317	145079.20	140243.47	26.0194	358.889	140628.38
500	1400	4029.7764	120899.34	116869.56	26.0194	386.496	117282.08
400	1500	3223.8211	96719.47	93495.65	26.0194	414.102	93935.77
300	1600	2417.8659	72539.60	70121.74	26.0194	441.709	70589.47
200	1700	1611.9106	48359.73	46747.82	26.0194	469.316	47243.16
100	1800	805.95529	24179.87	23373.91	26.0194	496.923	23896.85
50	1850	402.97764	12089.93	11686.96	26.0194	510.726	12223.70



Session 2 :1900 pipa diatas air dan 1900 m pipe diatas skidway

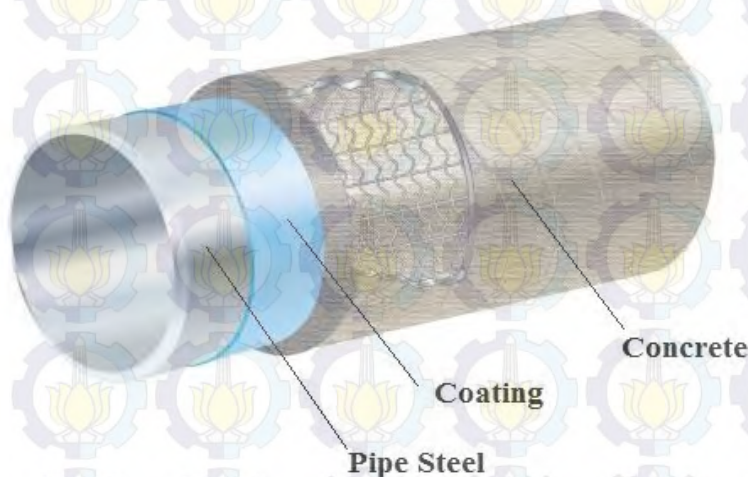
Pipe Section		f_s	F_{rk}	F_{res}	F_{dp}	F_f	$F_{pull\ tot}$
On Skidway	On Water						
1950	1850	15716.128	471507.42	455791.29	0	510.726	456302.01
1800	2000	14507.195	435237.61	420730.42	26.0194	552.137	421308.57
1700	2100	13701.24	411057.75	397356.51	26.0194	579.743	397962.27
1600	2200	12895.285	386877.88	373982.59	26.0194	607.350	374615.96
1500	2300	12089.329	362698.01	350608.68	26.0194	634.957	351269.66
1400	2400	11283.374	338518.14	327234.77	26.0194	662.564	327923.35
1300	2500	10477.419	314338.28	303860.86	26.0194	690.171	304577.05
1200	2600	9671.4634	290158.41	280486.95	26.0194	717.778	281230.74
1100	2700	8865.5081	265978.54	257113.03	26.0194	745.384	257884.44
1000	2800	8059.5529	241798.67	233739.12	26.0194	772.991	234538.13
900	2900	7253.5976	217618.81	210365.21	26.0194	800.598	211191.83
800	3000	6447.6423	193438.94	186991.30	26.0194	828.205	187845.52
700	3100	5641.687	169259.07	163617.39	26.0194	855.812	164499.22
600	3200	4835.7317	145079.20	140243.47	26.0194	883.419	141152.91
500	3300	4029.7764	120899.34	116869.56	26.0194	911.025	117806.61
400	3400	3223.8211	96719.47	93495.65	26.0194	938.632	94460.30
300	3500	2417.8659	72539.60	70121.74	26.0194	966.239	71113.99
200	3600	1611.9106	48359.73	46747.82	26.0194	993.846	47767.69
100	3700	805.95529	24179.87	23373.91	26.0194	1021.453	24421.38
0	3800	0	0.00	0.00	26.0194	1049.060	1075.08



Perhitungan Transformasi Material

DATA

Diameter Internal (D_i)	=	0.0972 m
Diameter (D)	=	0.1143 m
Wall Thickness (t)	=	0.0090 m
Diameter Corrosion Coating	=	0.1157 m
Diameter Concrete Coating	=	0.1943 m
Diameter Total (D_{tot})	=	0.1957 m
Panjang Keseluruhan (L)	=	3800 m
Gaya Hidrodinamika (F)	=	136.6517264 N/m
Berat Total Pipa (W_t)	=	804.193 N/m
Pipe Wall Thickness	=	0.009 m
Coating Thickness	=	0.0027 m
Concrete Thickness	=	0.040 m
Modulus Young of Pipe (E_{pipe})	=	207000 Mpa
Modulus Young of Coating (E_{coat})	=	3826.591 Mpa
Modulus Young of Concrete (E_{conc})	=	22000 Mpa



Luas Area Transformasi (Pipe Steel, Corrosion Protection Coating, Concrete)

$$\frac{E_{material\ 2}}{E_{material\ 1}} = n \quad b'_{material\ 2} = n b_{material\ 2}$$

Transformasi Pipa Baja dengan DFBE Coating

$$\frac{E_{coat}}{E_{pipe}} = 0.0185$$

Tebal coating tranformasi

$$t'_{\text{coat}} = 4.9912\text{E-}05 \text{ m}$$

Tranformasi Pipa Baja dengan Concrete

$$\frac{E_{\text{conc}}}{E_{\text{pipe}}} = 0.1063$$

Tebal concrete tranformasi

$$t'_{\text{conc}} = 0.0042512 \text{ m}$$

Tebal pipa keseluruhan setelah tranformasi

$$D'_{\text{tot}} = D + 2t'_{\text{coat}} + 2t'_{\text{conc}} = 0.123 \text{ m}$$

Luas area transformasi

$$A' = \frac{\pi D'^2_{\text{tot}}}{4} - \frac{\pi D_i^2}{4} = 0.004443 \text{ m}^2$$

Inersia transformasi

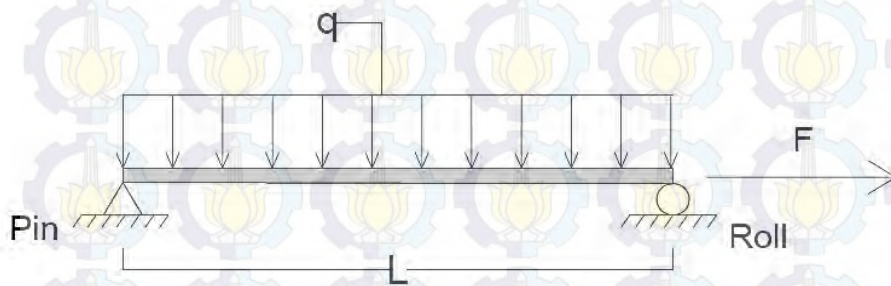
$$I'_{\text{st}} = \frac{\pi (D'^4_{\text{tot}} - D_i^4)}{64} = 6.81815\text{E-}06 \text{ m}$$

Perhitungan Tegangan Pipa

DATA

Diameter Internal (D_i)	=	0.0972 m	
Diameter (D)	=	0.1143 m	
Wall Thickness (t)	=	0.0090 m	
Diameter Corrosion Coating	=	0.1157 m	
Diameter Concrete Coating	=	0.1943 m	
Diameter Total (D_{tot})	=	0.1957 m	
Panjang Keseluruhan (L)	=	3800 m	
Gaya Hidrodinamika (F)	=	136.6517264 N/m	
Berat Total Pipa (W_t)	=	804.193 N/m	
Pipe Wall Thickness	=	0.009 m	
Coating Thickness	=	0.0027 m	
Concrete Thickness	=	0.040 m	
Modulus Young of Pipe (E_{pipe})	=	207000 Mpa	
Modulus Young of Coating (E_{coat})	=	3826.591 Mpa	
Modulus Young of Concrete (E_{conc})	=	22000 Mpa	
SMYS	=	241 Mpa	= 35000 psi

Perhitungan Tegangan



dengan,
Gaya Hidrodinamika sebagai q
Pulling Force sebagai F

• Reaksi Peletakan

$$R_A \text{ dan } R_B = \frac{q \cdot L}{2}$$

• Momen

$$M_{max} = \frac{q \cdot L^2}{8}$$

- Titik Tinjau

$$y = 1/2 \cdot D'_{\text{tot}}$$

- Tegangan Pipa

Tegangan Aksial

$$\sigma_{\text{aksial}} = \frac{P}{A}$$

Tegangan Momen

$$\sigma_{\text{moment}} = \frac{M \cdot y}{I}$$

Tegangan Total Longitudinal (σ)

$$= \sigma_{\text{aksial}} + \sigma_{\text{moment}}$$

- Check Codes

ASME B 31.8

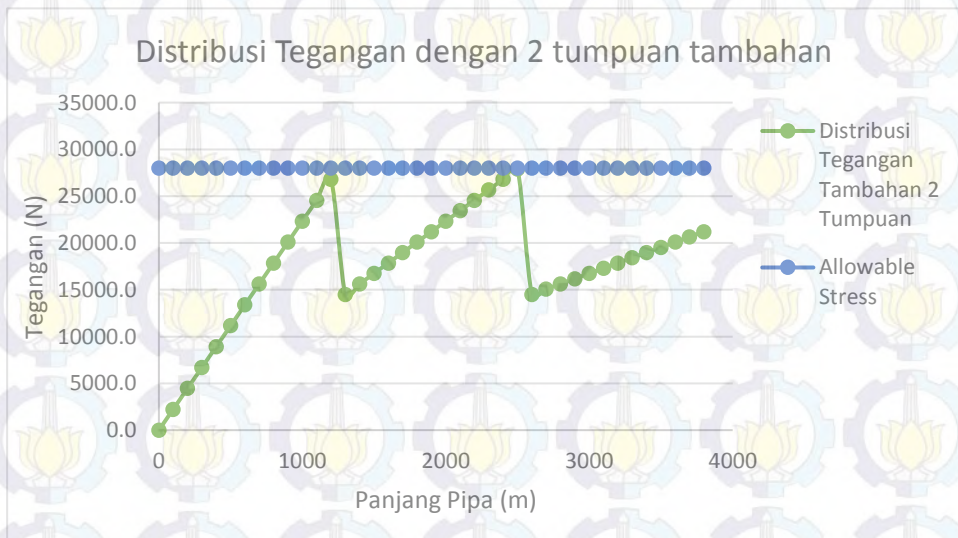
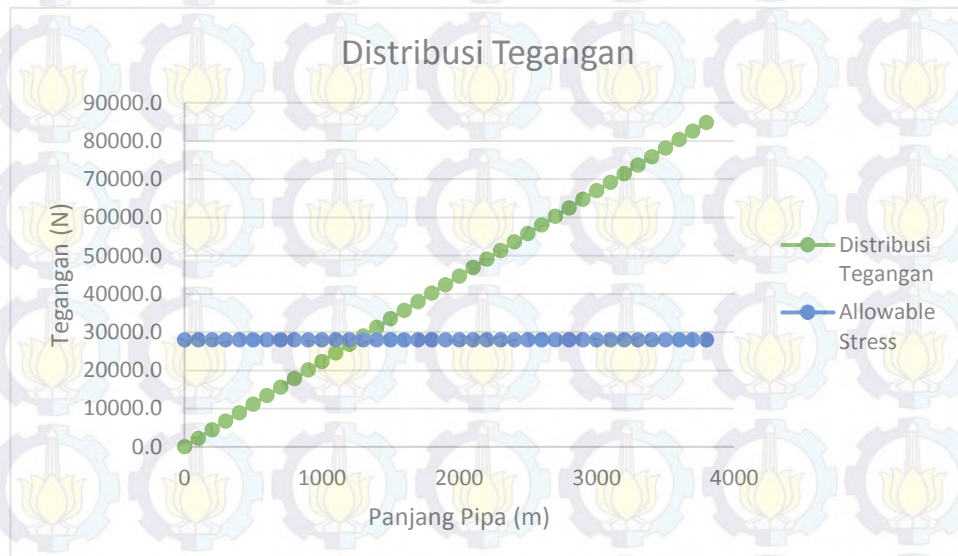
$$\sigma_{\text{Logitudinal}} \leq 0.8 \text{ SMYS}$$

$$\sigma_{\text{Logitudinal}} \leq 28000.0$$

Tegangan Pipa tiap 100 meter						
L	M	σ aksial	σ bending	σ Logitudinal		Check
m	N m	N/m ²	N/m ²	N/m ²	psi	ASME B31.8
0	0	1973.2	0	1973.19642	0.286	OK
100	1708.147	1869.58	15395314.82	15397184.4	2233.173	OK
200	3416.293	1765.85	30790629.65	30792395.5	4466.059	OK
300	5124.44	1662.12	46185944.47	46187606.6	6698.946	OK
400	6832.586	1558.39	61581259.29	61582817.7	8931.833	OK
500	8540.733	1454.66	76976574.12	76978028.8	11164.719	OK
600	10248.88	1350.93	92371888.94	92373239.9	13397.606	OK
700	11957.03	1247.2	107767203.8	107768451	15630.492	OK
800	13665.17	1143.47	123162518.6	123163662	17863.379	OK
900	15373.32	1039.74	138557833.4	138558873	20096.266	OK
1000	17081.47	936.014	153953148.2	153954084	22329.152	OK
1100	18789.61	832.284	169348463.1	169349295	24562.039	OK
1200	20497.76	728.555	184743777.9	184744506	26794.925	OK
1300	22205.91	624.825	200139092.7	200139718	29027.812	Not OK
1400	23914.05	521.095	215534407.5	215534929	31260.698	Not OK
1500	25622.2	417.365	230929722.4	230930140	33493.585	Not OK
1600	27330.35	313.635	246325037.2	246325351	35726.472	Not OK
1700	29038.49	209.906	261720352	261720562	37959.358	Not OK
1800	30746.64	106.176	277115666.8	277115773	40192.245	Not OK
1900	32454.79	54.311	292510981.6	292511036	42425.139	Not OK
2000	34162.93	2027.39	307906296.5	307908324	44658.327	Not OK
2100	35871.08	1871.91	323301611.3	323303483	46891.206	Not OK
2200	37579.22	1768.18	338696926.1	338698694	49124.092	Not OK
2300	39287.37	1664.45	354092240.9	354093905	51356.979	Not OK
2400	40995.52	1560.72	369487555.8	369489116	53589.866	Not OK
2500	42703.66	1456.99	384882870.6	384884328	55822.752	Not OK
2600	44411.81	1353.26	400278185.4	400279539	58055.639	Not OK
2700	46119.96	1249.53	415673500.2	415674750	60288.525	Not OK
2800	47828.1	1145.8	431068815.1	431069961	62521.412	Not OK
2900	49536.25	1042.07	446464129.9	446465172	64754.299	Not OK
3000	51244.4	938.345	461859444.7	461860383	66987.185	Not OK
3100	52952.54	834.615	477254759.5	477255594	69220.072	Not OK
3200	54660.69	730.885	492650074.3	492650805	71452.958	Not OK
3300	56368.84	627.155	508045389.2	508046016	73685.845	Not OK
3400	58076.98	523.426	523440704	523441227	75918.731	Not OK
3500	59785.13	419.696	538836018.8	538836439	78151.618	Not OK
3600	61493.28	315.966	554231333.6	554231650	80384.505	Not OK
3700	63201.42	212.236	569626648.5	569626861	82617.391	Not OK
3800	64909.57	108.506	585021963.3	585022072	84850.278	Not OK

Distribusi Tegangan dengan 2 tambahan tumpuan

L	M	σ aksial	σ bending	σ Logitudinal		Check
m	N m	N/m ²	N/m ²	N/m ²	psi	ASME B31.8
0	0	1973.2	0	1973.19642	0.286	OK
100	1708.147	1869.58	15395314.82	15397184.4	2233.173	OK
200	3416.293	1765.85	30790629.65	30792395.5	4466.059	OK
300	5124.44	1662.12	46185944.47	46187606.6	6698.946	OK
400	6832.586	1558.39	61581259.29	61582817.7	8931.833	OK
500	8540.733	1454.66	76976574.12	76978028.8	11164.719	OK
600	10248.88	1350.93	92371888.94	92373239.9	13397.606	OK
700	11957.03	1247.2	107767203.8	107768451	15630.492	OK
800	13665.17	1143.47	123162518.6	123163662	17863.379	OK
900	15373.32	1039.74	138557833.4	138558873	20096.266	OK
1000	17081.47	936.014	153953148.2	153954084	22329.152	OK
1100	18789.61	832.284	169348463.1	169349295	24562.039	OK
1200	20497.76	728.555	184743777.9	184744506	26794.925	OK
1300	11102.95	624.825	100069546.4	100070171	14513.951	OK
1400	11957.03	521.095	107767203.8	107767725	15630.387	OK
1500	12811.1	417.365	115464861.2	115465279	16746.823	OK
1600	13665.17	313.635	123162518.6	123162832	17863.259	OK
1700	14519.25	209.906	130860176	130860386	18979.694	OK
1800	15373.32	106.176	138557833.4	138557940	20096.130	OK
1900	16227.39	54.311	146255490.8	146255545	21212.573	OK
2000	17081.47	2027.39	153953148.2	153955176	22329.310	OK
2100	17935.54	1871.91	161650805.6	161652678	23445.739	OK
2200	18789.61	1768.18	169348463.1	169350231	24562.174	OK
2300	19643.69	1664.45	177046120.5	177047785	25678.610	OK
2400	20497.76	1560.72	184743777.9	184745339	26795.046	OK
2500	21351.83	1456.99	192441435.3	192442892	27911.482	OK
2600	11102.95	1353.26	100069546.4	100070900	14514.057	OK
2700	11529.99	1249.53	103918375.1	103919625	15072.267	OK
2800	11957.03	1145.8	107767203.8	107768350	15630.478	OK
2900	12384.06	1042.07	111616032.5	111617075	16188.688	OK
3000	12811.1	938.345	115464861.2	115465800	16746.898	OK
3100	13238.14	834.615	119313689.9	119314524	17305.109	OK
3200	13665.17	730.885	123162518.6	123163249	17863.319	OK
3300	14092.21	627.155	127011347.3	127011974	18421.529	OK
3400	14519.25	523.426	130860176	130860699	18979.740	OK
3500	14946.28	419.696	134709004.7	134709424	19537.950	OK
3600	15373.32	315.966	138557833.4	138558149	20096.161	OK
3700	15800.36	212.236	142406662.1	142406874	20654.371	OK
3800	16227.39	108.506	146255490.8	146255599	21212.581	OK



Perhitungan Kekuatan Beton

Data Pipa

Diameter Luar (D)	=	114.3 mm	=	0.1143 m
Diameter Dalam (Di)	=	97.20 mm	=	0.0972 m
Wall Thickness (t)	=	8.998 mm	=	0.008998 m
Modulus Young (E_{st}) Pipa	=	207000 Mpa		
SMYS	=	240 Mpa		
Concrete Thickness (t_{conc})	=	40 mm		
Modulus Young (E_{conc}) Beton	=	22000 Mpa		
Density Beton (ρ_{conc})	=	3050 kg/m ³		

1 Kuat tekan beton
 f_c'

$$= \left(\frac{E_{conc}}{2400} \right)^2$$

$$= 84.028 \text{ Mpa}$$

2 Cek Ketebalan Pipa
 t_{min}

$$= D \sqrt{\frac{SMYS}{8 E_{st}}}$$

$$= 1.3760 \text{ mm} < 8.998 \text{ mm}$$

OK

3 Cek Penampang Minimal Pipa Terhadap Luas Komposit

$$A_{pipe} = \frac{\pi (D^2 - D_i^2)}{4}$$

$$= 2840.510 \text{ mm}^2$$

$$A_{conc} = \frac{\pi (D^2 + t_{conc}^2)}{4}$$

$$= 11517.464 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{pipe}}{A_{pipe} + A_{conc}} = 0.19784 \text{ mm}^2$$

4 Tegangan Leleh Modifikasi

$$f_{my} = SMYS + C1 \cdot f_{yr} \cdot \left(\frac{A_{conc}}{A_{pipe}} \right) + C2 \cdot f_c' \cdot \left(\frac{A_{conc}}{A_{pipe}} \right)$$

Untuk Pipa

C1 = 1

C2 = 0.85

C3 = 0.4

$$= 529.602486 \text{ Mpa}$$

5 Modulus Elastivitas Concrete (untuk komposit perencanaan)

$$E'_{conc} = 0.041 \cdot \rho_{conc}^{1.5} \cdot \sqrt{f'c}$$

$$= 63306.0264 \text{ Mpa}$$

6 Modulus Elastivitas Concrete (untuk pipa)

$$E_{cp} = E_{pipe} + C3 \cdot E'_{conc} \cdot \left(\frac{A_{conc}}{A_{pipe}} \right)$$

$$= 309675.193 \text{ Mpa}$$

7 Jari-jari Girasi

$$r_m = r_{pipe}$$

Syarat : tidak boleh kurang dari 0.3 D

$$= 57.15 \text{ mm}$$

$$0.3 D = 34.29 \text{ mm}$$

Syarat OK

8 Parameter Kelangsingan

$$\lambda_{conc} = \frac{k \cdot L}{r_m \pi} \sqrt{\frac{f_{my}}{E_{cp}}}$$

$$= 1.8540$$

Karena $\lambda_{conc} \geq 1,2$ (termasuk kolom panjang elastis)

$$\omega = 1.25 \cdot \lambda_{conc}^2$$

$$= 4.30$$

9 Tegangan tekan kritis

$$F_{cr} = \frac{F_{my}}{\omega}$$

$$= 123.2595399 \text{ Mpa}$$

10 Kuat Nominal

$$N_n = A_{pipe} \cdot F_{cr}$$

$$= 350119.9888 \text{ N}$$

11 Kuat tarik beton

Tegangan ijin tarik

$$= 0.5 \cdot \sqrt{f'c} \quad (\text{SK SNI T-15-1991-03 dan PBI})$$

$$= 4.5833 \text{ Mpa}$$

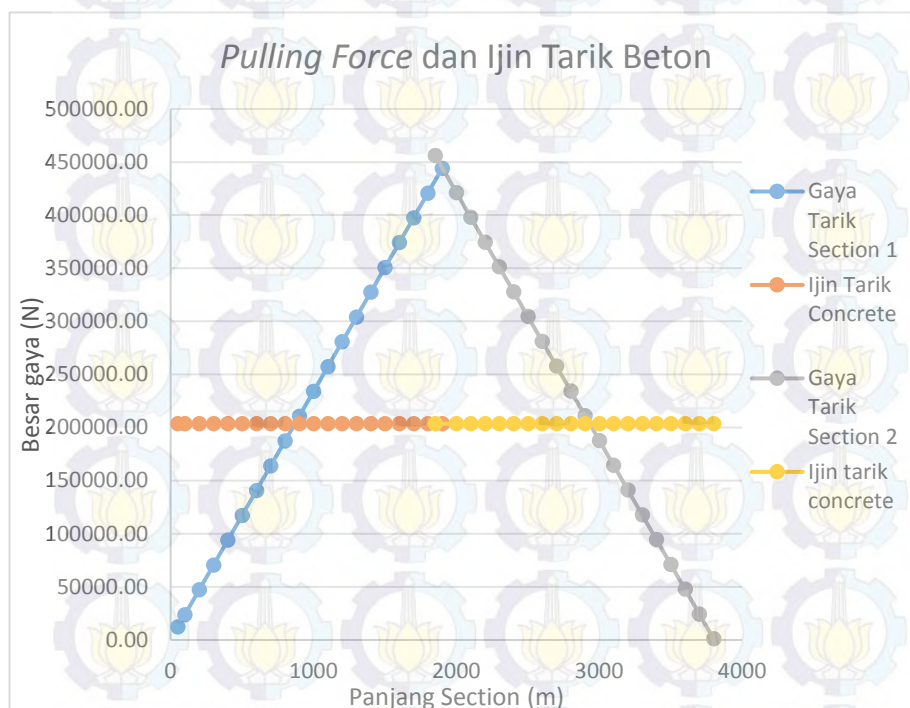
12 Besar ijin tarikan

$$F_{pull \text{ ijin}} = \text{Tegangan ijin tarik} \times A_{pipe}$$

$$= 203641.7188 \text{ N}$$

Hubungan *pulling force* dan kuat tarik lapisan beton

Section 1		F _{pull tot}	Section 2		F _{pull tot}	F _{pull ijin}
Pipe Section			Pipe Section			
On Skidway	On Water		On Skidway	On Water		
1900	0	444104.33	1950	1850	456302.01	203641.72
1800	100	420784.05	1800	2000	421308.57	203641.72
1700	200	397437.74	1700	2100	397962.27	203641.72
1600	300	374091.43	1600	2200	374615.96	203641.72
1500	400	350745.13	1500	2300	351269.66	203641.72
1400	500	327398.82	1400	2400	327923.35	203641.72
1300	600	304052.52	1300	2500	304577.05	203641.72
1200	700	280706.21	1200	2600	281230.74	203641.72
1100	800	257359.91	1100	2700	257884.44	203641.72
1000	900	234013.60	1000	2800	234538.13	203641.72
900	1000	210667.30	900	2900	211191.83	203641.72
800	1100	187320.99	800	3000	187845.52	203641.72
700	1200	163974.69	700	3100	164499.22	203641.72
600	1300	140628.38	600	3200	141152.91	203641.72
500	1400	117282.08	500	3300	117806.61	203641.72
400	1500	93935.77	400	3400	94460.30	203641.72
300	1600	70589.47	300	3500	71113.99	203641.72
200	1700	47243.16	200	3600	47767.69	203641.72
100	1800	23896.85	100	3700	24421.38	203641.72
50	1850	12223.70	0	3800	1075.08	203641.72



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A PERHITUNGAN GAYA.....A1

LAMPIRAN B PERHITUNGAN BERAT ANODA.....B1

LAMPIRAN C PERHITUNGAN BUOYANCYC1

LAMPIRAN D PERHITUNGAN *PULLING FORCE*.....D1

LAMPIRAN E PERHITUNGAN TRANSFORMASI MATERIAL.....E1

LAMPIRAN F PERHITUNGAN TEGANGAN PIPA.....F1

LAMPIRAN G PERHITUNGAN KUAT LAPISAN BETON.....G1